

## Trabajo Fin de Grado

Análisis de los materiales en las estructuras, en  
base a las demandas actuales de la sociedad, para  
un futuro sostenible

Madera, la evolución de un material tradicional

Analysis of materials in structures, based on  
society's current demands, for a sustainable and  
ecological future

Wood, evolution of a traditional material

Autor/es

María Elena Benito Berbegal

Director/es

Fernando Kurtz Rodrigo

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
2017





## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. María Elena Benito Berbegal,

con nº de DNI 25201577V en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
Grado \_\_\_\_\_, (Título del Trabajo)

Análisis de los materiales en las estructuras, en base a las demandas actuales  
de la sociedad, para un futuro sostenible y ecológico.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 23/11/2017

Fdo: \_\_\_\_\_



*Para descubrir algo nuevo hay que abrir un libro viejo*

## RESUMEN

Actualmente, el sector de la construcción es el responsable de una importante demanda de energía a nivel mundial y representa uno de los principales puntos a tratar a la hora de resolver el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero y del agotamiento de los recursos no renovables.

En los últimos años, hemos sido conscientes de este hecho y para contrarrestarlo se han creado una serie de certificaciones de eficiencia energética que establecen unos límites y normas en la demanda de energía de los usuarios en los edificios. Sin embargo, en estas certificaciones no están implicadas las energías utilizadas en la fabricación de los materiales de construcción ni ninguna de las energías implicadas hasta el momento de la fase de uso del edificio.

El sector de la construcción es uno de los principales motores económicos de la sociedad actual, es también uno de los sectores con mayor consumo energético.

Por otra parte, el creciente consumo energético que se está produciendo en estas dos últimas décadas en todos los países occidentales, teniendo como consecuencia el agotamiento de los recursos naturales, así como las emisiones a la atmósfera y el impacto que supone para el medio ambiente, justifica el estudio de la construcción de la ciudad en término de cuantificación energética.

Este trabajo tratará de realizar un análisis comparativo de la energía incorporada de los materiales de construcción en tres estructuras simples residenciales, las cuales serán diseñadas con tres materiales distintos, dos convencionales: hormigón, acero. Y un último no tan usado en la construcción de edificios en altura, la madera.

Otro de los aspectos que abarca este trabajo será el estudio comparativo de la energía embebida de los materiales en un contexto global de la edificación a lo largo de su ciclo de vida. Se comparará la energía incorporada considerando una vida útil de un edificio en 50 años. Alguna estimación realizada sobre sistemas constructivos habituales en nuestro país cifra la aportación de los materiales en más de un 30% de la energía total y el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a los producidos en toda la vida útil del edificio.<sup>1</sup>

Finalmente se expone que el aumento del uso de la madera en la construcción de viviendas puede mitigar las emisiones de dióxido de carbono y disminuir la energía incorporada del sector en la construcción residencial.

1. Villar-Burke, R., Jiménez-González, D, Larrumbide, E., Tenorio, J.A. (2014). Impacto energético y emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio con soluciones alternativas de fachada. Informes de la Construcción.



# Índice

<b>Resumen</b>	<b>6</b>	
<b>1. Introducción</b>	<b>12</b>	
1.1 Justificación de la investigación		14
1.2 Hipótesis		16
1.3 Objetivo		16
1.4 Alcances y limitaciones		16
1.5 Motivación		17
<b>2. Estado del arte</b>	<b>18</b>	
2.1 Antecedentes		19
2.2 Estado actual		20
2.3 Impacto medioambiental, consumo de energía y emisiones de CO <sub>2</sub>		23
2.4 Energía relacionada a la construcción de los edificios		24
2.4.1 Ciclo de vida		25
2.4.2 Coste energético de la fabricación de los materiales de construcción		28
2.4.3 Coste energético de la fase de construcción		29
2.4.4 Coste energético de la fase de uso y mantenimiento		32
<b>3. Materiales</b>	<b>33</b>	
<b>3.1 Cemento y hormigón</b>		<b>34</b>
3.1.1 Características		34
3.1.2 Composición		35
3.1.3 Impacto medioambiental en la fabricación		34
3.1.4 Reciclaje		35
3.1.5 Edificación		36
3.1.6 Ventajas y desventajas		36
<b>3.2 Acero</b>		<b>36</b>
3.2.1 Características		37
3.2.2 Composición		37
3.2.3 Impacto medioambiental en la fabricación		37
3.2.4 Reciclaje		38



3.2.5 Edificación	38
3.2.6 Ventajas y desventajas	38
<b>3.3 Madera</b>	<b>39</b>
3.3.1 Características	40
3.3.2 Material renovable	41
3.3.3 Contaminación	41
3.3.4 Investigación y construcción	41
3.3.5 Innovación del material	43
<b>3.4 Comparativa final</b>	<b>45</b>
<b>4. Esquema metodológico</b>	<b>48</b>
4.1 Fase de extracción y fabricación de los materiales	49
4.2 Fase de construcción	49
4.3 Objetos de estudio	49
4.4 Esquema metodológico	50
<b>5. Descripción y análisis de la nueva estructura</b>	<b>52</b>
<b>6. Descripción y análisis de los casos</b>	<b>58</b>
<b>6.1 Estructura de hormigón</b>	<b>59</b>
6.1.1 Fase de extracción y fabricación de los materiales	60
6.1.2 Fase de construcción de la estructura	61
6.1.3 Residuos	62
<b>6.2 Estructura de acero</b>	<b>63</b>
6.2.1 Fase de extracción y fabricación de los materiales	63
6.2.2 Fase de construcción de la estructura	64
6.2.3 Residuos	64
<b>6.3 Estructura de madera</b>	<b>65</b>
6.3.1 Fase de extracción y fabricación de los materiales	65
6.3.2 Fase de construcción de la estructura	66
6.3.3 Residuos	67
<b>7. Conclusiones</b>	<b>68</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>72</b>





# 01

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los indicios de un deterioro ecológico, debido a las actividades humanas, se han ido haciendo cada vez más presente. Temas como la reducción de la capa de ozono, la protección del medio ambiente y el cambio climático global producido por las emisiones de gas de efecto invernadero han abierto un debate sobre la preocupación por el futuro del planeta.

De la misma manera, en los últimos años, nuestro conocimiento tecnológico nos ha permitido ser capaces de construir casi cualquier cosa en relación con el diseño y las estructuras de los edificios. No obstante no estamos preparados para construir en vistas a un futuro en el cual somos más sostenibles y conscientes del impacto de la arquitectura en la naturaleza.

El rápido crecimiento del consumo de la energía mundial ha hecho visible la preocupación por las futuras complicaciones de abastecimiento y el agotamiento de los recursos energéticos. Y dentro de este debate, el sector de la construcción presenta uno de los principales focos a estudiar y analizar, debido a que es uno de los sectores que más energía y recursos no renovables consume, concretamente, cerca del 40% de la energía mundial es destinada al uso y fabricación de los materiales; cerca del 40% del gas responsable del efecto invernadero deriva de la construcción y del uso de los edificios ; cerca del 50% de todo el material extraído de la tierra es utilizado por el sector de la construcción y este mismo sector participa en un 60% en la producción de deshechos.<sup>2</sup>

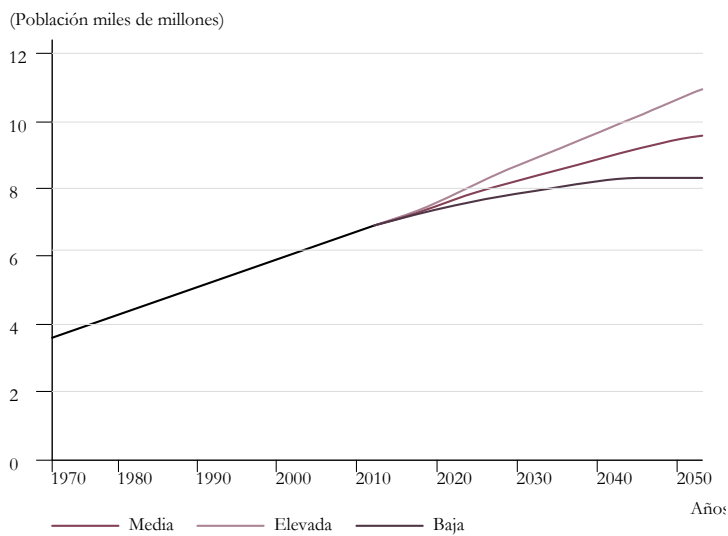
Centrándonos un poco más en el ámbito residencial y en Europa, el sector de la construcción es el mayor consumidor de energía con un 41%, superando al de la industria y el transporte. Si aproximadamente el 75% de los edificios que se construyen son residenciales, esto revela que el 27% del consumo total de energía está destinado a ellas.

Por estos motivos, la eficiencia energética en la construcción y en los edificios es, actualmente, un objetivo primordial para la política energética a nivel internacional. Y por lo tanto, la realización de este trabajo se basa en analizar tres tipos de estructuras construidas cada una de ellas con un material distinto, a saber (hormigón, acero y madera). Con el objetivo de realizar, posteriormente, una comparación y análisis en cuanto al nivel de consumo de energía en la creación y construcción de cada una de ellas. Otro material muy usado en el sector de la construcción como es el ladrillo, ha sido descartado por la limitación de no poder construir más de cierta altura con él, característica presente en las estructuras analizadas por razones que se explicaran en el siguiente apartado.

2. Stark Zeumer, H.F., (2008). Atlante della Sostenibilità. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

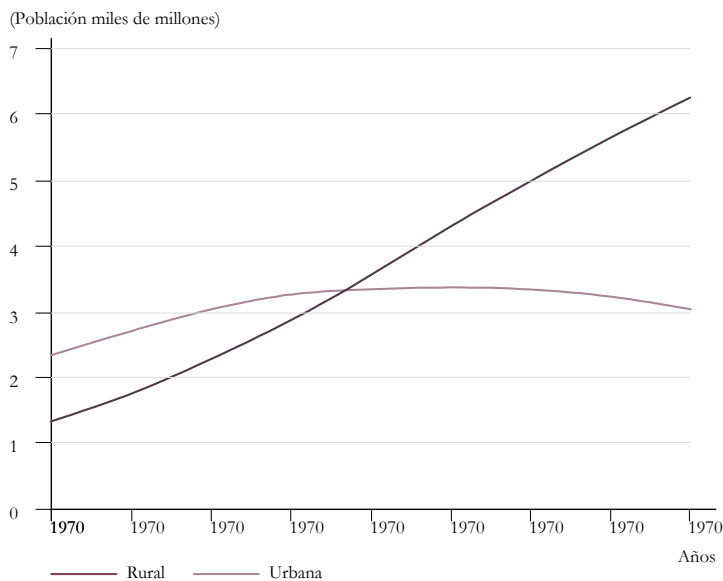
1.1 Justificación de la investigación

Actualmente, la globalización, la mejora de las condiciones de vida y el desarrollo de las redes de comunicación promueven un determinado estilo de vida en los países desarrollados, que favorecen su desarrollo y provoca un crecimiento exponencial de la población y por lo tanto el aumento de las necesidades energéticas y de consumo. Según la ONU, está previsto que la población aumente en más de 1000 millones de personas en los próximos 100 años. De esta manera, el mundo sería hogar de 8.500 millones de personas en 2030, 9.700 millones en 2050 y 11.200 millones en 2100.<sup>3</sup>



**Figura 1.1.** Estimaciones y proyecciones de la población total del mundo. 1970-2050.  
**Fuente:** Naciones Unidas. (2014). La situación demográfica en el mundo. Nueva York: Naciones Unidas

Adicionalmente, la ONU prevé que para 2019 más del 54,5 % de la población mundial vivirá en ciudades y que para el 2030 estas mismas ciudades tendrán que ser capaces de albergar el 60% de la población total del mundo, ya que 1 de cada 3 personas vivirá en una ciudad de al menos, medio millón de habitantes.<sup>4</sup>



**Figura 1.2.** Estimación de la población urbana y rural del mundo. 1970 a 2050.  
**Fuente:** Naciones Unidas. (2014). La situación demográfica en el mundo. Nueva York: Naciones Unidas

5. Santamouris, M. (2016). "Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change". Athens: Elsevier

Según un estudio realizado en el sector de la construcción, la sociedad se enfrenta a un problema de déficit grave de viviendas adecuadas, incluyendo además, que existen cerca de 1.6 billones de personas que viven en viviendas inadecuadas o de mala calidad y que la urbanización sin precedentes en los países en desarrollo pone en un gran compromiso la capacidad del sector de la arquitectura y de la construcción.<sup>5</sup>

Por lo tanto, el futuro desafío de la arquitectura y la construcción será urbanizar con mayor altura y densidad, y sobre todo, con materiales sostenibles para poder ser respetuosos con el medio ambiente.

Como ya hemos dicho anteriormente, los edificios son los responsables del 40% de la energía final en la mayoría de los países desarrollados. En Europa sólo los edificios residenciales representan el 27% del consumo de energía final, mientras que en España este valor se reduce al 18%. Esta situación se agrava más cuando la principal fuente de energía son los combustibles fósiles como el petróleo y sus derivados.

De esta reflexión se plantean escenarios futuros, en los que las ciudades se transformarán y evolucionarán gracias al empleo de nuevos materiales, o al menos nuevo desde el punto de vista de sus características. Uno de los motivos de este trabajo es analizar la madera como posible material para desarrollar estas nuevos edificios residenciales ya que debido a sus características, ecológico y renovable, se plantea como una solución a los problemas ligados a la producción y al consumo de energía para un desarrollo de carácter global y sostenible.

En cambio, debido a esta creciente preocupación por el cambio climático y sus efectos, en los últimos años lo que se ha estado desarrollando son los estándares de casas pasivas o Passivhaus que están recibiendo con un gran interés en la sociedad, debido a la reducción en el consumo de energía de la vivienda, a la disminución del coste económico de esta y a la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Sin embargo estos estándares de casa pasiva se centran únicamente en disminuir la demanda energética en la fase de uso de la vivienda. Durante su construcción, el arquitecto tiene el libre criterio de considerar que materiales usar o no, independientemente de la energía absorbida por ellos.

Debido a que la mayoría de los estudios realizados están enfocados en la reducción del consumo energético durante el uso del edificio, en el presente trabajo se pretende cuantificar el coste energético que supone la etapa inicial de la construcción, basándonos en una estructura simple en altura, motivo por el cual el ladrillo es descartado, para analizar y comparar los resultados obtenidos al realizarla con los 3 tipos diferentes de materiales anteriormente especificados.

Este estudio se enfocará en conocer la implicación de la energía incorporada de los materiales utilizados y en el cálculo de su ciclo de vida para finalmente extraer algunas conclusiones acerca de las características de una futura construcción en madera que serán útiles para comprobar si este material puede ser un sustituto o no, a la hora de construir nuestras viviendas en un futuro no tan lejano y así poder prescindir de ciertos materiales usados por costumbre que evitan el uso de alternativas más sostenibles.

## 1.2 Hipótesis

La hipótesis de este trabajo se basa en que la energía embebida en la construcción de las estructuras de los edificios para uso residencial y las emisiones de CO<sub>2</sub> pueden disminuir considerablemente gracias a la utilización de materiales como la madera.

En la búsqueda por encontrar alternativas sostenibles y biodegradables, se emprende una tarea difícil de reemplazar las construcciones de hormigón y acero, que suponen la destrucción de montañas y la contaminación de fuentes de agua, en el caso de hormigón. En esta investigación, la madera es el único material 100% reciclable y biodegradable, el único que crece por sí mismo y que deja una huella de carbono dos veces inferior al hormigón.<sup>6</sup>

6. TIMOTHÉE BOITOUZET, "La madera con la que se construirán los rascacielos del futuro". Youtube "<https://www.youtube.com/watch?v=aimD80pTdas>"

## 1.3 Objetivo

Analizar la energía embebida de 3 materiales de construcción en la realización de una estructura en altura, su ciclo de vida y a partir de ello estudiar el verdadero alcance o mejora que supondría utilizar la madera como sustituto de los principales materiales de construcción empleados actualmente, acero y hormigón.

Específicos:

- Contabilizar y comparar la energía incorporada en la creación de los materiales de construcción elegidos para este trabajo.
- Contabilizar y comparar la energía embebida en el proceso de construcción de una estructura.
- Identificar con qué material se consume una menor energía.
- Contabilizar y comparar con el fin de encontrar una solución sostenible.

## 1.4 Alcances y limitaciones

Alcances:

- El estudio se realizará en 3 estructuras en altura diseñadas de manera simple.



-Dado que el objetivo del trabajo es estudiar la energía embebida en cada una de ellas a la vez que se busca una respuesta a la demanda y forma de la vivienda en un futuro, dichas estructuras serán simples y contarán con una altura considerable.

-La investigación se centra exclusivamente en la energía incorporada de los materiales y la embebida a lo largo del proceso de construcción.

#### Limitaciones

-Definir las limitaciones de las tres estructuras

-Definir que las estructuras sean adecuadas para el modelo de crecimiento de las ciudades

-Falta de una fuente de información única y “fiable” en lo referente al gasto de energía para la creación de cada uno de los materiales.

## 1.5 Motivación del estudio.

La innovación en los materiales de construcción ha sido parte de nuestro actual debate sobre la arquitectura tanto como en cualquier periodo de nuestra historia. El descubrimiento de nuevos materiales o nuevas maneras de utilizarlos han transformado nuestra forma de construir y pensar nuestros edificios.

Con el paso del tiempo, nos hemos concienciado más sobre cómo los materiales son diseñados, extraídos, procesados y tratados a grandes presiones o temperaturas que usan ingentes cantidades de energía y/o una gran cantidad de sustancias tóxicas. Pero ¿Cuál es la viabilidad y factibilidad de ciertos materiales innovadores en su tiempo como fueron el hormigón armado y el acero en comparación con los materiales de construcción tradicionales?

Este documento surge de examinar el potencial de una investigación llevada a cabo con uno de los materiales de construcción por excelencia, pero que debido a sus características a la hora de satisfacer las necesidades de la sociedad, quedó relegado a un segundo plano. La madera

En primer lugar no se trata de una madera corriente. Asociaciones como la EMPA o la compañía Woodoo trabajan en desarrollar una madera que nos haga reconsiderar la manera en la que construimos nuestros edificios y ciudades.

Se trata de una madera que modificada genéticamente cambia sus características, manteniendo la estructura de la madera pero sustituyendo el aire y la lignina por una plástico transparente de base biológica que hace que gane densidad, fuerza y mejore sus características frente al agua, fuego y hongos.

En base a esta vía de investigación se pretende demostrar si la madera podría ser de verdad un material con el que construir los edificios del futuro.

# 02

## ESTADO DEL ARTE

## 2.1 Antecedentes

Las técnicas constructivas históricas y locales, más allá de las costumbres de la zona, han estado siempre ligadas al aprovechamiento eficiente de la energía disponible y a la cantidad de recursos disponibles. La revolución industrial que se inició alrededor de 1760, es sin duda el punto de partida del uso intensivo, extensivo e irrazonable de los recursos naturales en busca de un crecimiento económico, científico y técnico.

En el curso de la historia la revolución industrial supone un giro importante basada en el presupuesto de que las materias primas y la energía no tienen unos límites físicos y naturales. La arquitectura, creyendo que todo es posible, toma distancia de las condiciones ambientales y de los factores naturales. En esta época, esta tendencia viene favorecida de los avances tecnológicos que ofrecen todo tipo de innovaciones como el uso de nuevos materiales como el acero y la optimización de los procesos de construcción.

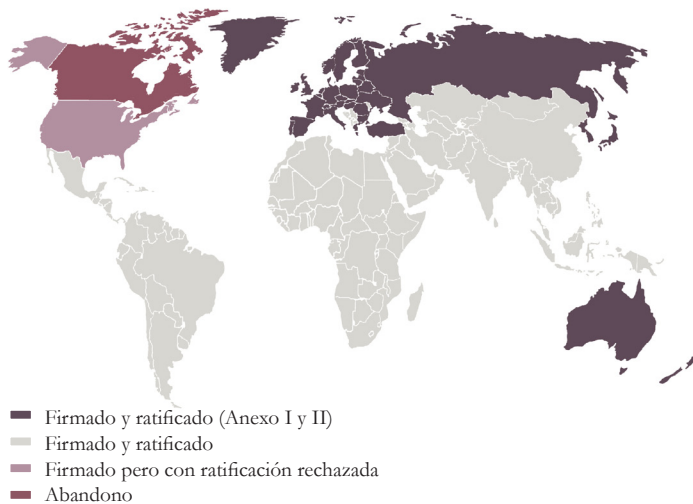
En el primer periodo del Movimiento Moderno, el impulso a la investigación y desarrollo en el campo de los materiales tiene una gran importancia y está dirigido a satisfacer la gran demanda de construcción y la búsqueda de la transparencia, la luz, el aire libre y el sol. La investigación conduce a la idea de la prefabricación industrial, que encuentra un ejemplo sin precedentes en el “sistema Domino” de Le Corbusier de 1928.

Aunque el sistema climático varíe de forma natural a lo largo del tiempo debido a causas naturales, tras la Revolución Industrial no es posible explicar las modificaciones en el clima solo por estos efectos naturales. Tras darse cuenta de esto, se comienza a estudiar el comportamiento energético de los edificios introduciendo conceptos como la energía generada dentro del edificio y la empleada en su construcción.

Un ejemplo de ello es la investigación de un grupo de investigadores del Massachusetts Institute Technology titulada “Los límites del crecimiento” (1994) donde la principal conclusión del estudio fue que si se mantenían las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos, este planeta alcanzaría los límites de su crecimiento en los próximos 100 años.

Ante esta situación los países industrializados, dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se comprometieron en 1997, en la ciudad de Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero.

Los gobiernos signatarios de dichos países pactaron reducir en al menos un 5% en promedio las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. Dicho protocolo tardo en entrar en vigor casi una década y en el cual, uno de los mayores emisores a nivel mundial, Estados Unidos, no quiso formar parte.



Actualmente, a pesar de los esfuerzos por minimizar las consecuencias, no se ha llegado a un modelo sostenible en el que exista una reducción significativa de usos de los recursos y materiales naturales, de la energía y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 2.2 Estado Actual

En los últimos años, no sólo la sostenibilidad de nuestros edificios ha estado en el punto de mira de la sociedad. La sostenibilidad urbana también ha ido cogiendo relevancia en el sector de la construcción y del urbanismo, volviendo la mirada hacia la ciudad ya construida y las posibilidades de regeneración, renovación y rehabilitación de los espacios.

Hasta ahora, predominaba la ciudad extensiva, aquella que se ampliaba a medida que la población aumentaba, el ensanche y la nueva edificación primaban por encima de todo. Pero las distintas crisis energéticas y económicas han sacado a la luz los problemas a los que se enfrenta nuestra sociedad, problemas que hay que abordar y resolver prioritariamente, como es el caso del consumo energético y la atención al tejido urbano ya existente.

Esta regeneración tiene como objetivo dejar atrás esa ciudad expansiva y poner la mirada en los centros históricos o partes de la ciudad consolidada caracterizados por una baja calidad residencial y urbanística para su mejora.

**Figura 2.1** Participación de los países en el Protocolo de Kyoto.

**Fuente:** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kyoto\\_Protocol\\_participation\\_map\\_2010.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kyoto_Protocol_participation_map_2010.png)

7. García Vázquez, C. (2015). La obsolescencia de las tipologías de vivienda de los polígonos residenciales construidos entre 1950 y 1976.

En la búsqueda de dicho modelo, es necesario, de un lado, analizar y teorizar sobre la obsolescencia de estas zonas residenciales.<sup>7</sup>

Pero la búsqueda de dichas soluciones para promover una ciudad baja en carbono no pasa sólo por la rehabilitación, la regeneración, la renovación y la reinención del espacio urbano, pueden encontrarse otras respuestas también adecuadas al crecimiento futuro de la población en las ciudades.

Los arquitectos tuvieron un gran impacto entre 1950 y 1930 en la planificación urbana, mostrando una verdadera preocupación social y tratando de mejorar las condiciones de vida de la población a través de una reflexión sobre la vivienda y sus usos.

Es verdad que la rehabilitación edificatoria y urbana ha sido la gran ausente de la normativa urbanística<sup>8</sup> y que debe de haber un estudio por parte de nuestro sector para poder revitalizar las ciudades. Pero también es verdad, que las ciudades tal y como están planteadas hoy en día no van a poder soportar el gran aumento de población que se prevé.

8. Tejedor, J. (2015). Nuevo paradigma normativo sobre la ciudad: Retornando a la ciudad

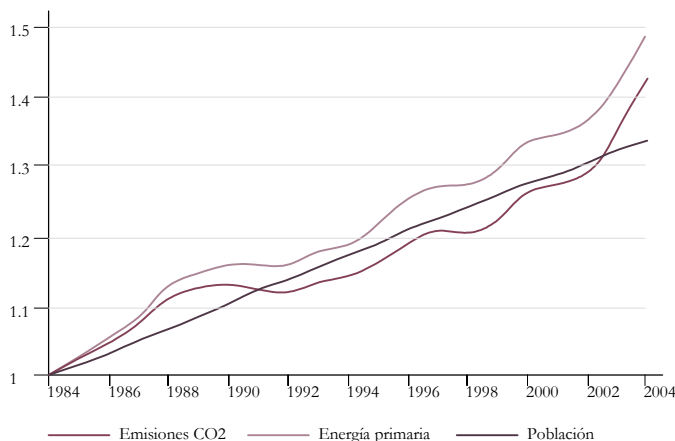
La siguiente investigación pretende abrir una nueva posibilidad que pueda ir de la mano con las inquietudes actuales. No una ciudad expansiva, sino una ciudad en altura, que consiga densificar y acoger a la nueva población de una manera responsable con la ayuda de materiales sostenibles que no dañen nuestro planeta.

## **2.3 Impacto medioambiental, consumo de energía y emisiones de CO2.**

El progreso de nuestra sociedad y de nuestras ciudades ha estado siempre íntimamente ligado al contexto climático local, a la existencia de materias primas y a la disponibilidad de fuentes de energía de la zona. No obstante, no hace tanto que la humanidad consiguió desvincularse de estos condicionantes gracias al uso de combustibles de origen fósil.

Junto con las constantes innovaciones y las nuevas tecnologías, el bienestar de los países industrializados presentan cada vez más una mayor capacidad productiva pero a la vez una mayor necesidad energética basada principalmente en el consumo de energías de origen fósil.

La agencia Internacional de Energía realizó un estudio en el que mostraba que en las dos últimas décadas (1984-2004), el consumo de energía primaria había crecido en un 49% y las emisiones de CO2 en un 43%, con un aumento anual respectivamente del 2% y del 1.8%.



**Figura 2.2** Consumo de energía primaria, emisiones de CO2 y crecimiento de la población mundial. Años de referencia 1984 – 2004.

**Fuente:** International Energy Agency (IEA)

El crecimiento de consumo de energía mundial ha expresado su preocupación y son muchos los estudios que analizan la situación. Un estudio reciente también indica que el consumo mundial de energía crecerá en un 48% entre 2012 y 2040 (EIA 2016) con un promedio de 1.5% al año.

El consumo final de energía suele estar dividido en 3 sectores principales: industria, transporte y otros. En este último están incluidos los sectores de la agricultura, el sector servicios y residencial. Este último al no contabilizarse de manera independiente hace muy difícil el recabar información sobre el verdadero consumo energético de los edificios.

Las labores de extracción de las materias primas de origen mineral y metálico dan lugar a situaciones de aprovechamiento del paisaje pero también conllevan su deterioro y pérdida tal y como se conoce. Con el aumento de la demografía y la producción industrial el deterioro ambiental y el gran consumo de recursos están mostrando de un modo muy claro que debemos cambiar nuestra manera de actuar.

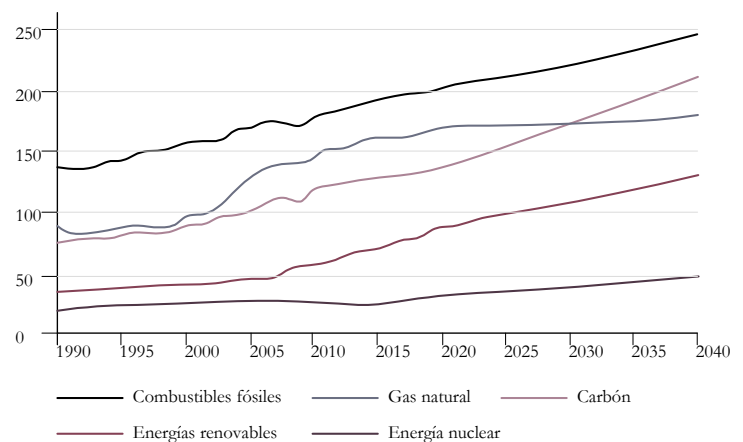
A pesar de que las energías de fuentes no renovables, son aquellas que siguen predominando a la hora de crear energía. Las energías renovables aumenten en un promedio de 2.6 % por año hasta el 2040 (EIA 2016). A pesar de que se espera que el uso de combustibles no fósiles crezca más rápidamente que los combustibles fósiles (petróleo y otros combustibles líquidos, gas natural y carbón), estos últimos siguen representado más de tres cuartas partes del consumo mundial de energía.

La contribución global de los edificios hacia el consumo energético, tanto residencial como comercial, ha aumentado de forma sostenida hasta situarse entre el 20% y el 40% en los países desarrollados, superando en consumo a sectores importantes como la industria y el transporte.<sup>9</sup> Principalmente por la creciente demanda del sector residencial en los países, que como hemos explicado antes, cada vez aumenta con mayor rapidez

9. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. y Pout, C, (2007). "A review on buildings energy consumption information". Spain: Elsevier

**Figura 2.3** Proyección de consumo de energía mundial 1990 – 2040, por fuente de energía.

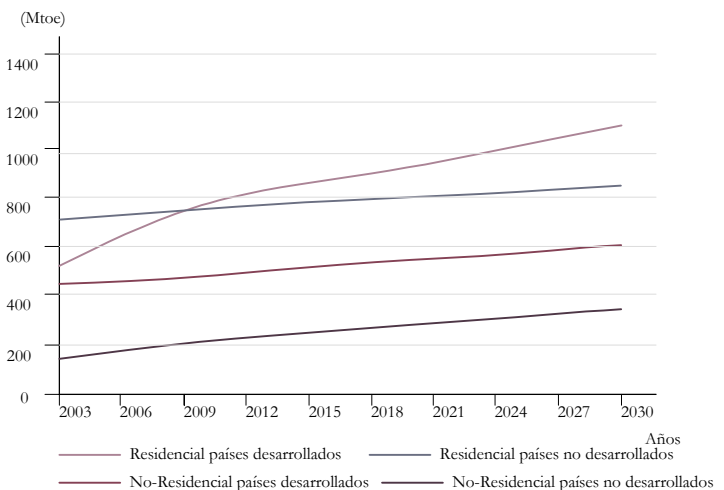
**Fuente:** International Energy Outlook 2016



Estudios analizan esta situación y muestran que las tendencias futuras en las que el consumo energético de los edificios crecerá un 34% en los próximos 20 años y en el 2030 el consumo de energía atribuido a los edificios residenciales será del 67% aproximadamente. (EIA 2016)

**Figura 2.4** Consumo de energía embebida por parte de los edificios.

**Fuente:** Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. y Pout, C. (2007). "A review on buildings energy consumption information".



10. Stark Zeumer, H.F., (2008). Atlante della Sostenibilità. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

Esto, sumado a que el 50 % de los recursos disponibles es utilizado para la construcción y el mantenimiento de los edificios, hace evidente la necesidad de encontrar una solución para el sector residencial.<sup>10</sup>

## 2.4 Energía relacionada a la construcción de los edificios

A nivel mundial, los edificios consumen casi la mitad de la energía producida, y en consecuencia, son responsables de una gran parte de las emisiones de CO<sub>2</sub>. La energía de ciclo de vida de un edificio (LCE) comprende su energía incorporada (EE) y la energía operativa (OE). El diseño del edificio, las condiciones climáticas prevalentes y el comportamiento de los ocupantes determinan principalmente su LCE. Por lo tanto, para la identificación de estrategias apropiadas de reducción de emisiones, los estudios sobre la construcción LCE y los estudios de las energías son cruciales.

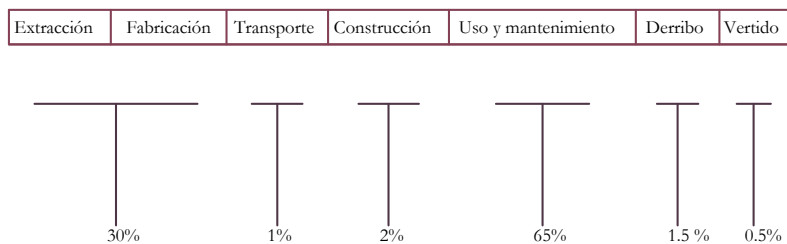
Aunque la mayoría de los estudios se centran en la energía operativa de los edificios. Este trabajo intentará analizar la energía modificada de tres tipos distintos de estructuras para su posterior comparación con el fin de elegir la madera como material del futuro. Por ello en este trabajo nos centraremos en las fases de extracción, fabricación y transporte (energía incorporada o energía gris) y en la fase de construcción (energía embebida).

En este trabajo solo se abordará la energía embebida necesitada en la fase de construcción de la estructura.

La energía perteneciente a la fase de uso o mantenimiento (energía operativa) será explicada brevemente para poder comparar y entender el conjunto de energías que están involucradas en la vida de un edificio.

La energía de demolición y eliminación se aborda raramente en varios estudios, ya que juntos forman menos de 1% d la energía del ciclo de vida.<sup>11</sup>

11. Praseeda, K.I., Venkatarama, B.V. y Mani, M, (2015). “Embodied and operational energy of urban residential buildings in India”. India: Elsevier



**Figura 2.5** Esquema de la metodología de comparación de impactos ambientales empleada.  
**Fuente:** F. Elaboración propia

2.4.1 Ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida de un edificio es un método de evaluación de las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad mediante la identificación y cuantificación de la energía, los materiales utilizados y los deshechos en el medio ambiente.<sup>12</sup>

Fue desarrollado principalmente para el diseño de productos de bajo impacto ambiental, pero cuando se aplica este análisis a un edificio no es un proceso sencillo como para otros productos de consumo, debido a que a menudo los edificios tienen múltiples funciones y contienen varios componentes diferentes. (Zabalza Bribián, 2009)

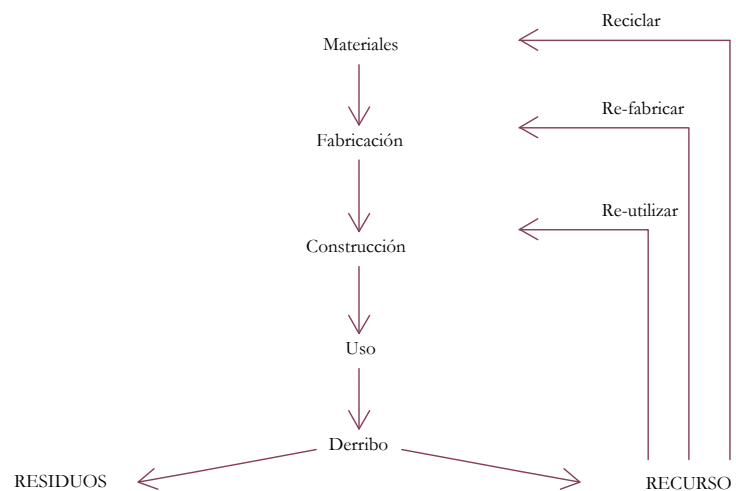
Según las fuentes consultadas, las fases de extracción y fabricación de materiales (energía incorporada) y la fase de uso (energía operativa) del edificio son las que concentran hasta un 90% del consumo de la energía y emisiones de CO2 del ciclo de vida de un edificio.

12. .QUISPE GAMBOA, CLAUDIA N. (2013). Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO2 aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética. Trabajo Final de Máster. Cataluña: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.



## 2.4.2 Coste energético de la fabricación de materiales de construcción. Energía incorporada o energía gris.

El mundo construido es un mundo hecho de materiales que en su interior conservan la mayor parte de la energía disponible sustraída del planeta. La arquitectura que una vez definieron arquitectos como Vitrubio o Alberti, en la cual los materiales empleados en la construcción debían ser de fácil acceso, renovables y biodegradables (madera y piedra) ha quedado muy lejos de nuestra realidad.



**Figura 2.6** Esquema ciclo vida materiales.  
**Fuente:** F. Elaboración propia

13 Vázquez Espí, M (2001). “Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales”. Madrid: Instituto Juan Herrera

Las ciudades se transforman y evolucionan gracias al uso de materiales que provienen de todas partes del mundo. En la actualidad, la gran mayoría de las materias primas (cobre, mercurio, plomo, arsénico, uranio y combustibles fósiles) se extraen de yacimientos agotables y de difícil acceso y junto a ello, se generan gran variedad de deshechos y productos contaminantes.<sup>13</sup>

Como se ha descrito anteriormente, la industrialización incorporó una gran cantidad de estos materiales en cuya producción se sustituye la mano de obra por energía de combustión, ejemplos de ello son el cemento, el acero y el aluminio. Debido a las innovaciones tecnológicas cada vez se realizan más productos que dejan ciclos abiertos, es decir, consumen recursos y producen deshechos que se acumulan en el ambiente sin poder ser procesados por los ecosistemas, sumado a ello, al fabricar y transportar dichos productos generalmente se emplean fuentes de energía renovables con lo cual también se generan emisiones de CO<sub>2</sub>.<sup>14</sup>

Hoy en día la realización de un metro cúbico de construcción pesada requiere cerca de 650 Kg de material y la realización de un metro cúbico de construcción ligera requiere cerca de 450 Kg.<sup>15</sup> No es de extrañar entonces, que el sector de la construcción sea el que más recursos consuma del planeta llegando a utilizar casi la mitad del material extraído.

14 Vázquez Espí, M (2001). “Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales”. Madrid: Instituto Juan Herrera

15. Stark Zeumer, H.F., (2008). Atlante della Sostenibilità. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

La energía necesaria para la fabricación de un material, y por lo tanto acumulada en su interior, toma el nombre de energía incorporada (EI) o energía gris. Este término indica la cantidad de energía necesaria en la producción, transporte, almacenaje y eliminación del producto.

Además la energía incorporada también puede ser definida por la cantidad de energía directa e indirecta necesaria para producir bienes y servicios. La energía directa se refiere a la requerida por el proceso de fabricación, mientras que la indirecta es absorbida por la minería, la transformación y el transporte de los factores de producción.<sup>16</sup>

16. Chastas, Theodosiou, & Bikas, 2016.

La EI de los materiales de construcción representa una importante contribución a la energía total consumida por los edificios. El uso de materiales de alto consumo de energía tales como el ladrillo (2.9 MJ/Kg), el cemento (7.0 MJ/Kg) o el hormigón (1.1 MJ/Kg) da como resultado niveles altos de energía incorporada.

Esta energía está cuantificada como energía primaria (PEI) y se mide en MJ. PEI= energía utilizada para la producción de la energía de uso final, incluyendo pérdidas de extracción, transformación y distribución.. Pero para cuantificar bien esta energía es necesario hacer un análisis diferenciado de los materiales y distinguir entre energía de fuente renovable y energía de fuente no renovable.

Estudios y análisis demuestran que respecto al resto de los materiales de construcción las materias primas renovables como la madera poseen un alto poder calorífico. Es decir, gran parte de la energía que queda retenida en la madera procede del tiempo que ha tardado el árbol en crecer, y por eso cuando hablamos de energía, debemos diferenciar entre renovables y no. Porque en el caso de la madera, parte de la energía primaria que consume en su producción está cubierta por una cierta cantidad de energía renovable que puede ser nuevamente utilizada al final del ciclo de uso del material.<sup>17</sup>

17 Stark Zeumer, H.F., (2008). Atlante della Sostenibilità. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

A continuación realizaremos algunas consideraciones en cuanto al coste energético de los materiales de construcción.

Los materiales cuya fabricación y puesta en obra suponen un mayor consumo energético por unidad de masa son los metálicos que necesitan grandes aportes de energía en su manufacturación. Existe una gran diferencia entre el acero y el aluminio cuando mayoritariamente este último es el más utilizado en el capítulo de carpinterías metálicas.

De entre diversas fuentes consultadas se tomaron como válidas los valores publicados en la “Guía de la edificación sostenible” por el IDEA. Estos datos se encuentran recogidos en la siguiente tabla.

MATERIAL	Densidad (Kg/m2)	E.P (MJ/Kg)	E.P (MJ/m2)
Acero 100% reciclado	7850	17	133450
Acero comercial (20% reciclado)	7850	35	274750
Aluminio 100% reciclado	2700	23	62100
Aluminio comercial (30% reciclado)	2700	215	580500
Aluminio primario	2700	160	432000
Arcilla cocida, ladrillos y tejas	40	4.5	180
Arcilla/materiales vitrificados	1800	10	18000
Arcilla cocida. Sanitarios	1900	27.5	52250
Arena	1500	0.1	150
Asfalto	1300	10	13000
Cemento	1200	7	8400
Cobre comercial	8900	90	80100
Cobre primario	8900	90	80100
Fábrica de ladrillo hueco	1000	2.96	2960
Fábrica de ladrillo macizo	1800	2.85	5130
Fábrica de ladrillo perforado	1400	2.86	4004
Fibra de vidrio	30	30	900
Fibro cemento ( fibras de madera)	2000	9	18000
Fibro cemento (de amianto)	1700	6	10200
Grava	1700	0.1	170
Hormigón H-150	2500	0.99	2475
Hormigón H-200	2500	1.1	2400
Hormigón H-175	2500	1.03	2100
Madera de clima templado	800	3	9800
Madera tropical	700	3	9800
Madera aglomerada con formaldehidos	700	14	75
Madera aglomerada sin formaldehidos	700	14	40
Madera contrachapada	15	5	52.6
Mortero M.40	40	1	40
Mortero M.80	40	1.34	40
PVC. Primario	2100	80	168000
PVC reciclado	2100	-	-
Pintura plástica	0.07	20	1.4
Pintura plástica (2)	0.07	20	1.4
Pintura y barnices sintéticos	0.065	100	6.5
Neopreno	4.8	-	-
Poliestireno expandido EPS	20	120	2400
Poliestireno extruido XPS a.h CO2	40	100	4000
Poliestireno extruido XPS a.h HCFH	40	100	4000
Polipropileno	4.8	80	384
Poli etileno reciclado	4.8	77	396.6
Poliuretano PUR . a.h CO2	4.8	-	-
Poliuretano PUR a.h. HFCH	4.8	70	336
Vidrio plano	2600	19	49400
Yeso	1250	3.3	4125

**Figura 2.6** Energía primaria de los materiales  
**Fuente:** F. Elaboración propia

Los materiales que se utilizan en la impermeabilización y en el aislamiento del edificio también son elementos de gran consumo energético. No obstante su uso en la construcción de viviendas es proporcionalmente menor. Se puede apreciar el bajo coste energético de los materiales naturales, arenas, gravas, piedra y madera, frente a materiales de elaboración industrial como el hormigón o el cemento.

Los materiales que se usan en la impermeabilización y aislamiento son elementos de gran consumo energético pero a la vez su uso dentro del edificio es proporcionalmente menor.

2.4.3 Coste energético fase de construcción. Energía embebida (modificada)

La energía modificada (EE) representa el consumo de energía para la construcción de los edificios, es decir, la suma de la energía incorporada de los materiales de construcción, la energía de transporte de materiales y la energía de construcción.<sup>18</sup> Es decir, es la suma de todas las energías necesarias para fabricar un bien y se expresa generalmente también en términos de energía primaria.

La energía incorporada de los materiales de construcción representa una gran contribución en la energía embebida de los edificios. La selección apropiada de los materiales con respecto a su energía es crucial para limitar la energía modificada de los edificios.

La cantidad de energía primaria contenida en varios grupos de elementos que componen un edificio es muy diversa. En casi todos los edificios la estructura portante contiene la mayor parte de la energía primaria correspondiente a la fase de construcción, seguida de la fachada de todas las partes que componen un edificio, es por ello que se revela la relevancia del gasto energético de los materiales de construcción en el desarrollo de la estructura y por lo tanto el motivo de este trabajo.

18. Praseeda, K.I., Venkatarama, B.V. y Mani, M, (2015). “Embodied and operational energy of urban residential buildings in India”. India: Elsevier

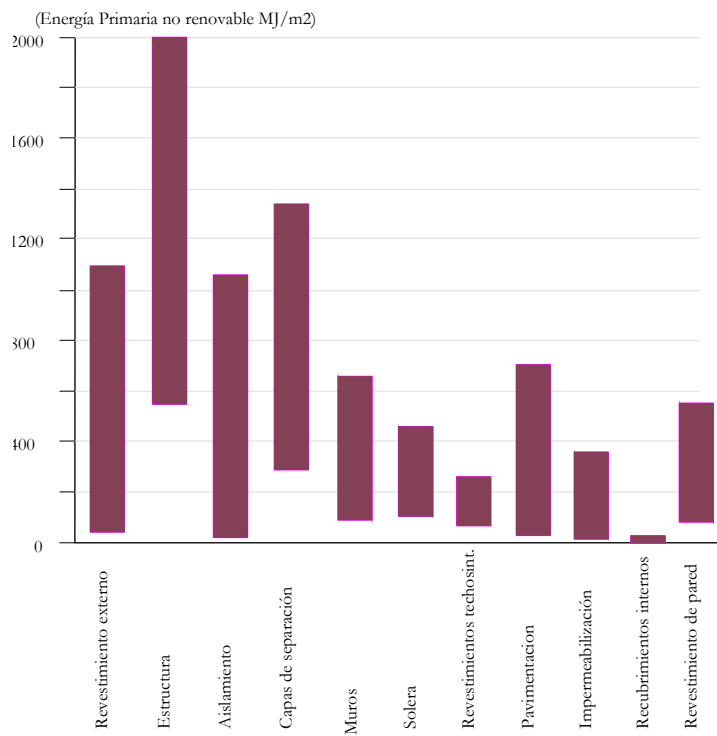


Figura 2.7 Energía primaria no renovable  
Fuente: Atlante della sostenibilità

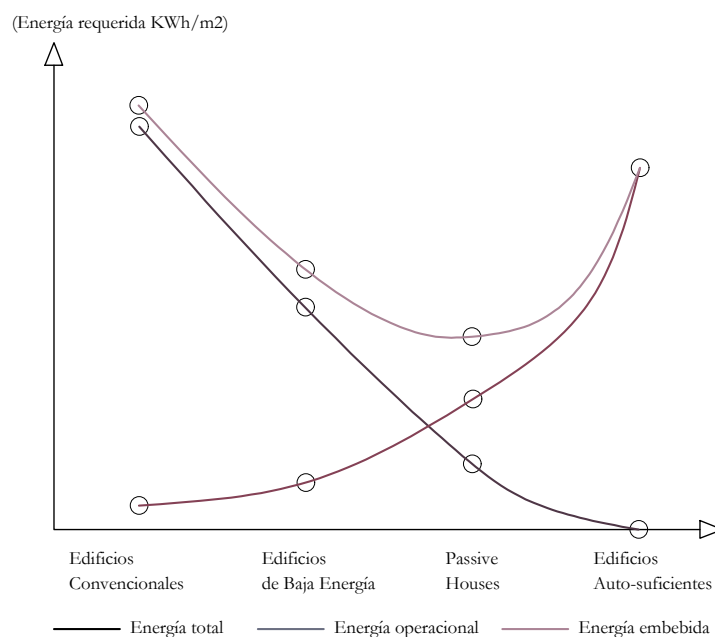
#### 2.4.4 Coste energético fase de uso y mantenimiento. Energía operacional.

Se puede definir la energía operativa (EO) como el uso de energía durante la actividad del ocupante o la energía necesaria para la operación de un edificio. (Mersin, 2011). La EO depende de las condiciones climáticas, de las necesidades de la región y el confort de los ocupantes, por tanto los edificios situados en regiones que experimentan condiciones climáticas extremas requieren más energía operativa.

El consumo de energías en las viviendas supone un impacto ambiental a escala global debido, esencialmente a las emisiones de CO<sub>2</sub> y al agotamiento de recursos no renovables por un modelo energético basado en combustibles fósiles.

Mientras que la EE acontece una vez y depende de los materiales de construcción y la localización de estos, la EO puede variar con los años de uso y con los usuarios de la vivienda, ya que incluye la energía involucrada en la calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente, iluminación y otros aparatos electrónicos. Es en esta energía en la cual se centran los estándares Passivhaus.

Hasta el momento, la atención se ha centrado sobre el consumo de la energía destinada al uso del edificio. Sin embargo, es una tendencia que está cambiando y cada vez son más los estudios que se centran en el tema de la energía incorporada de los materiales. (Dixit, DernandezSolis, Lavy&Culp, 2010).



**Figura 2.8** Compensación entre la energía incorporada y operativa para varios tipos de edificios.

**Fuente:** Copello, S. (2016). "Economic implications of the energy issue: Evidence for a positive non-linear relation between embodied energy and construction cost". Venice: Elsevier

Estudios sobre la compensación entre la EO y la EI muestran la importancia de la energía incorporada. (Sartori & Hestnes, 2007). Se basan en la creciente conciencia de que la energía inicialmente utilizada para producir bienes y servicios podría influir en gran medida en la cantidad total de energía del ciclo de vida.

Pero debido a la preocupación por reducir el consumo de manera general en todas las fases de vida del edificio se prevé que la energía de las primeras fases iguale en importancia a la energía operativa.



# 03

## MATERIALES



Durante miles de años, los edificios se construyeron utilizando principalmente materiales primarios como la piedra, la madera y la arcilla. Desde mediados del siglo XVIII comenzó el uso del hierro y a principios del siglo XIX comenzó la producción del acero, ambos materiales representaban las necesidades constructivas de la sociedad ya que podían someterse a compresión y tracción, una característica que los materiales de construcción tradicionales, a excepción de la madera, no poseían. Actualmente los materiales más empleados en la ejecución de las estructuras de los edificios son mayoritariamente el hormigón y el acero.

En esta apartado explicaremos brevemente las características de cada uno de los materiales utilizados en este estudio.

### 3.1 Cemento y hormigón

El uso del cemento y del hormigón en la arquitectura moderna empezó con el uso casual de la piedra calcárea en la antigüedad, siglos más tardes, la mejora de la técnica nos ha permitido utilizar métodos absolutamente innovadores para la construcción de nuestros edificios.

#### 3.1.1 Características

Mecánicas

- Gran resistencia al fuego
- El hormigón es un material con un buen comportamiento a com-

**Figura 3.1** Tabla clases de hormigón  
**Fuente:** Elaboración propia

CLASE DE HORMIGÓN	Resistencia específica a compresión (Mpa)	A utilizar en hormigones
H-15	15	Simple
H-20	20	Simple y armados
H-25	25	Simple y armados y pretensados
H-30	30	Simple y armados y pretensados
H-35	35	Simple y armados y pretensados
H-40	40	Simple y armados y pretensados
H-45	45	Simple y armados y pretensados
H-50	50	Simple y armados y pretensados
H-60	60	Simple y armados y pretensados

- El hormigón es un material con una resistencia a tracción muy baja. En este caso su comportamiento es de tipo frágil, con rotura instantánea una vez se alcanza la tensión límite.
- Alta compacidad.
- En relación al uso que se le vaya a dar, existen distintas clases de hormigón que tienen usos específicos: ordinario, en masa, armado, pretensado, postensado, autocompactante, fino, celular, de alta densidad etc.

- El hormigón ofrece una gran durabilidad ya que no es debilitado por la humedad, el moho o las plagas,
- Plasticidad

#### *Versatilidad*

- Se trata de un material muy versátil que con la maquinaria adecuada para su preparación y aplicación es capaz de ofrecer diferentes usos y acabados.
- El hormigón puede encontrarse en construcciones como edificios, túneles, puentes, presas, pavimentos, carreteras etc.

#### *Bajo mantenimiento y asequibilidad*

- Generalmente un material barato y compuesto de materiales disponibles en todas partes si lo comparamos con otros como el acero que acarrea unos costes de producción más altos.
- El hormigón no requiere mucho esfuerzo en su mantenimiento. Gracias a ser un material inerte, compacto y no poroso, no pierde sus propiedades con el paso del tiempo.

#### *Masa térmica*

- Las paredes y suelos de hormigón se caracterizan por poner barreras al paso del calor. Esto significa que las salas con paredes de hormigón retienen mejor las temperaturas, y necesitan menos calor en invierno y menos refrigeración en verano, lo que supone un gran ahorro energético.

### **3.1.2 Composición**

La importancia del hormigón armado en la arquitectura radica en gran parte en su composición. Se trata del primer material de construcción heterogénea, ya que está compuesto de acero, cemento, arena, grava y agua. El 85% de su elaboración es a partir de áridos (arena y grava) aglomerados con cemento y que mezclados con agua reaccionan químicamente convirtiéndose en una piedra artificial. En ocasiones se emplean aditivos o sustancias químicas que mejoran o modifican algunas propiedades como la impermeabilidad, la resistencia al desgaste como ya hemos nombrado anteriormente.

### **3.1.3 Impacto medioambiental en su fabricación**

En la fabricación del hormigón, la fase más impactante se produce en el transporte de la central hormigonera a la obra y en la limpieza de los camiones y útiles en fábrica y obra, por el empleo de grandes cantidades de agua.

En el proceso de elaboración del hormigón, uno de los materiales principales en su composición es el cemento, para el cual la fase

extractiva de la materia prima genera un gran impacto a nivel medioambiental, pues provoca la alteración de ecosistemas y precisa del empleo de mucha energía en el proceso y en el transporte de materiales polvorientos o pulverizados causando un impacto ambiental muy negativo. En el caso de los aditivos, al ser materiales químicos muchos de ellos provenientes de los polímeros, son muy contaminantes aunque su uso sea en muy bajas proporciones.

### **3.1.4 Reciclaje**

El empleo de hormigón armado para estructuras de los edificios es mayoritario frente a los otros dos materiales que se presentarán a continuación, a la vez es de los tres el que más problemas de reciclado presenta.

Como el consumo de áridos representa más del 50% del peso total de los materiales empleados (referenciar tesis 3), una de las primeras medidas básicas que se toman para poder garantizar en su medida una edificación más sostenible, es el uso de áridos reciclados de los residuos de construcción y demolición.

### **3.1.5 Edificación**

Un dato significativo de las obras construidas en hormigón armado es que tienen una durabilidad mínima de 50 años, pudiendo ampliarse hasta 100 años con leves medidas en su diseño y casi siempre dirigidas a la protección de las armaduras frente a la corrosión.

#### **3.1.6 Ventajas y desventajas**

Las estructuras de hormigón armado es uno de los sistemas de construcciones más utilizado en la actualidad para la construcción de cualquier tipo de edificio por las grandes ventajas que ofrece a cualquier estructura.

### **3.2.6 Ventajas y desventajas**

Si vamos a realizar una construcción en hormigón armado, debemos de tener en cuenta las ventajas que ésta ofrece y sus desventajas:

Ventajas

- No necesita calor para su fabricación
- Continuidad estética.
- Buena durabilidad.
- Materiales componentes fáciles de encontrar.
- Adherencia al acero
- Protege el acero de la corrosión y del fuego.
- Variadas terminaciones superficiales, relieves y colores

## Desventajas

- El peso del hormigón dificulta su transporte. Eso hace que el lugar de producción y el de utilización no puedan estar muy lejos el uno del otro (esto, que podría ser visto como una desventaja, también supone menos emisiones de CO<sub>2</sub>)
- Baja resistencia a la tracción.
- Inestabilidad dimensional
- Propiedades dependen de tiempo
- El hormigón armado requiere mayores secciones y por ende el peso propio es una carga muy importante en el diseño.
- Su relación resistencia a la compresión versus peso está muy por debajo de la correspondiente al acero, el cual es más eficiente cuando se trata de cubrir grandes luces.
- Presenta deformaciones variables con el tiempo. Bajo cargas sostenidas, las deflexiones en los elementos se incrementan con el tiempo.
- Requiere de un permanente control de calidad en su fabricación, pues ésta se ve afectada por las operaciones de mezcla, colocación, curado, entre otras.
- Requiere de encofrado lo cual implica su habilitación, vaciado, espera hasta que el hormigón armado alcance la resistencia requerida y desencofrado, con el tiempo que estas operaciones implican.

## 3.2 ACERO

El uso del acero en edificación de manera relevante comenzó a finales del siglo XVII con la construcción del puente Severn, Coalbrookdale, en Inglaterra en el año 1779. Desde entonces su uso se ha extendido tanto en la ingeniería civil con la construcción de puentes hasta la arquitectura generando cambios sustanciales en los métodos y técnicas de construcción.

Sin embargo, hasta hace poco no era posible producir un precio tan bajo y en cantidades y piezas tan grandes que pudiera considerarse al mismo nivel que la piedra y la madera. OTTO KÖNIGER, 1902

### 3.2.1 Características

A continuación se enumeraran algunas de las principales características del acero:

#### *Resistencia*

El acero es un material de gran resistencia. Los elementos que hacen falta para formar la estructura de un edificio pueden ser de una sección transversal mucho menor que por ejemplo el caso del hormigón.

- Relación peso/capacidad portante, aligerando el peso de la estructura y liberando superficie útil.
- Comportamiento simétrico a tracción y compresión.
- Su resistencia específica es un orden de magnitud superior a la del hormigón aproximadamente.
- Uniformidad y homogeneidad del material.
- Los límites de rendimiento pueden alcanzar los 880N/m<sup>2</sup>.

El acero también presenta algunas desventajas:

- Corrosión: dependiendo del lugar y de los agentes externos corrosivos.
- Vulnerable al fuego: necesidad de recubrir este tipo de estructuras metálicas con algún material ignífugo o intumescente.
- Pandeo: debida a la esbeltez de los elementos sometidos a compresión.
- Necesidad de mano de obra especializada.

### **3.2.2 Composición**

El acero es una aleación de hierro y carbono en diversas proporciones que se fabrica a partir del mineral de hierro en altos hornos. Cada acero contiene cantidades mínimas de aditivos que afectan a su calidad, dependiendo de la composición. La cantidad de carbono determina las propiedades de los diferentes aceros. Un aumento en el nivel de carbono aumenta la dureza y la resistencia a tracción, al tiempo que reduce la resistencia y la plasticidad. Una disminución de la cantidad de carbono, aumenta la soldabilidad.

### **3.2.3 Fabricación**

El acero es una aleación de hierro y carbono en diversas proporciones, que se fabrica a partir del mineral de hierro en altos hornos o a partir de la chatarra en hornos eléctricos, y que se emplea en construcción en la fabricación de barras corrugadas para el hormigón armado y de perfiles laminados y piezas auxiliares.

### **3.2.4 Repercusión en el medio ambiente**

El impacto negativo en la fabricación del acero se produce en las fases de transformación, acabado y protección. La producción en general del acero genera una gran cantidad de partículas contaminantes como el CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero. La producción de 1 Kg de acero en horno eléctrico emite cerca de 462 g de CO<sub>2</sub> casi, un 50% de su peso se traduce en emisiones al medio ambiente, mientras que la alternativa de alto horno emite cerca de 2.469 g de CO<sub>2</sub>, es decir más del doble de su peso. En la gráfica se presentan algunos de los principales impactos ambientales provocados por la producción de una tonelada de acero.

- Posee una alta resistencia al fuego (entre 1 y 3 horas)
- Requiere de poco mantenimiento
- Gran maleabilidad para dar cualquier forma con el uso del encofrado.

### **3.2.5 Reciclaje**

Una de las ventajas del acero es que es un material reciclable al 100% y que en el proceso no pierde sus propiedades ni calidad. En España, la tasa de reciclaje en construcción alcanza niveles muy altos: el 98% de las vigas y el 65-70% de las barras de refuerzo, y los productos elaborados con acero reciclado de chatarra representan el 40% de los recursos férricos de la industria del acero en todo el mundo. El reciclaje de acero se simplifica en gran medida gracias a sus características magnéticas, ya que permite una clasificación rápida de los materiales de desecho. No conocen los problemas relacionados con la fusión de aceros trabajados superficialmente, por ejemplo lacados.

Por cada tonelada de acero reciclado se ahorra 1,25 toneladas de mineral de hierro, 630 Kg de carbón y 54 Kg de caliza (de Spot, 2002). A ello se agrega que el proceso de reciclaje requiere menos energía, crea menos residuos y emite menos cantidades de partículas contaminantes que la elaboración de la misma cantidad de acero a partir de materias primas.

### **3.2.6 Edificación**

La vida media probable de una construcción tradicional se sitúa en 50 años según el momento de industrialización en la que se produjo el acero.

Los edificios y estructuras de acero son muy durables y tienen una larga vida útil, como lo demuestran los múltiples edificios más que centenarios actualmente en servicio en distintas partes del mundo y en diferentes condiciones de clima y ambiente. Además de su larga vida útil, una vez que termina su ciclo de vida, el acero puede ser 100% reciclado sin perder sus propiedades.

### **3.2.7 Ventajas y desventajas**

Existen múltiples edificios y estructuras de acero en distintas partes del mundo y en diferentes condiciones de clima y ambiente de las que se ha podido extraer las ventajas y desventajas de construir con este material:

Ventajas

Por sus características de resistencia ofrece:

- Luces mayores de apoyo.

- Plantas más libres y por lo tanto una mayor libertad para diseñar.
- Alturas mayores que con otros materiales.
- Menor carga por peso propio.
- Se ofrece como alternativa para proyectar una estructura más liviana.
- Oportunidad para producir edificios completamente modulados tanto en horizontal como en vertical.

Dentro de la vida del edificio:

- Aporta un excelente comportamiento en los casos de sismo por la capacidad de absorber y disipar energía.
- Gran adaptabilidad a los cambios de uso y destino como consecuencia e incremento en la vida útil del edificio.
- Fácil desmantelamiento y demolición.

Constructivamente:

- Velocidad de construcción generada por la prefabricación.
- Menor tiempo de construcción que con el hormigón armado.
- Facilidad de construcción entre medianerías y zonas de alta congestión.
- Facilidad para la remodelación y ampliación.
- El clima no afecta severamente a las condiciones de montaje.
- Construcción en seco
- Bajo nivel de escombros y deshechos

Económicamente:

- La rapidez en el montaje de la estructura y la mecanización hacen que la edificación se ejecute en menos tiempo que una estructura de hormigón armado reducen los costes y gastos generales.

Desventajas

- Los ruidos en los edificios se transmiten con más facilidad de unos espacios a otros.
- Necesidad de proteger el material cuando el edificio se encuentra en zonas de atmósfera agresiva que puedan provocar su corrosión.
- Necesidad de protegerlo frente al fuego a causa de su vulnerabilidad.
- Necesidad de mano de obra especializada

### **3.3 MADERA**

El uso de la madera como material de construcción ha acompañado a la humanidad a lo largo de toda su historia. En un inicio, junto con la piedra, era el principal material constructivo antes de que aparecieran nuevos materiales más resistentes que relegaran su uso.

### 3.3.1 Características

Debido a su estructura y composición química y a la alta variedad en sus propiedades, la madera tiene complejas características:

#### *Resistencia*

- La resistencia de la madera varía en función de la especie y de la humedad. Los paneles de madera contrachapada soportan una carga de 24N/mm<sup>2</sup> en el caso del pino Oregón, 20 N/mm<sup>2</sup> en el caso del pino Silvestre y 18 N/mm<sup>2</sup> en el pino Pinaster.
- Su módulo de elasticidad varía entre 10.000 y 14.000 en función de la madera empleada.
- La relación resistencia mecánica-peso propio es muy favorable con respecto a los otros materiales usados en la construcción.
- La madera presenta una gran resistencia en dirección longitudinal (¿Más que el hormigón en todos los sentidos y más que el acero en sentido axial?).
- La resistencia a flexión de la madera es muy elevada por lo que es perfecta para vigas, viguetas y paredes de cubierta.
- La madera es muy resistente a la fatiga.
- La madera puede encontrarse con resistencias a la flexión desde 18N/mm<sup>2</sup> hasta 40N/mm<sup>2</sup>.
- La madera presenta una baja dureza y densidad, es decir es un material blando, lo que facilita su mecanizado, con un menor gasto energético.

#### *Ligereza*

- Su resistencia mecánica y su bajo peso específico debido a la porosidad, hacen de la madera un material ligero que es posible implantar en terrenos débiles.

#### *Aislamiento acústico*

- Gracias a su porosidad y elasticidad posee unas grandes propiedades acústicas ya que absorbe una parte importante de la energía de las ondas que recibe reduciendo así la polución acústica y fenómenos como el de la reverberación.

Pese a que la madera es un material muy versátil presenta ciertos límites:

- Se hincha en presencia de agua.
- Es particularmente vulnerable al calor o al fuego.
- Sufre ataques por hongos y/o otros microorganismos.
- Presenta problemas de expansión y contracción.
- Durabilidad.



### **3.3.2 Material renovable**

La madera es el único material biosostenible y la única fuente de material renovable del planeta. Su producción en bosques locales está caracterizada como CO<sub>2</sub> neutral durante todo su ciclo de vida. El ciclo de vida de la madera es cerrado. En España una vez finalizada su vida útil la madera se puede recuperar e integrar otra vez en la cadena como materia prima. En España, el porcentaje de madera que sigue este proceso es muy elevada, abarca casi el 70%.

### **3.3.3 Contaminación**

La madera durante todas las fases de su ciclo se muestra como un material versátil, adaptable y con gran multitud de usos. Además, la madera y sus productos derivados cuentan con el valor añadido de tener un papel relevante en la mitigación de los efectos del cambio climático, ya que la madera a lo largo de su ciclo fijará y almacenará el CO<sub>2</sub>, el principal gas causante del efecto invernadero.

“Según una publicación de EPA “Environmental Protection Agency” de Estados Unidos del 2016 muestra las diferencias de emisiones netas de CO<sub>2</sub> en la producción de diferentes materiales y el carbono almacenado. Los árboles en su formación y por la fotosíntesis almacenan carbono, además de emitir menos dióxido de carbono en su transformación por ello, frente al acero o hormigón contribuyen a frenar el cambio climático generando menos emisiones e incluso almacenando carbono con emisiones negativas, es decir, almacenando más carbono del que se emite.”

Una de las problemáticas ambientales asociadas a la madera que se encuentra muy extendida, es el riesgo de deforestación que causa graves problemas ambientales como la erosión, la contaminación de aguas y la destrucción del bosque como sistema productivo.

Lo que no está tan extendido y se desconoce es que 10 millones de metros cúbicos de madera crecen en Suiza y Francia cada año, pero solo dos partes de ellos son utilizados, estos bosques se están expandiendo y haciéndose cada vez más viejos. Habría que encontrar un equilibrio teniendo en cuenta que la construcción en madera lleva aparejada un mayor porcentaje de re-posición de los árboles que se talan.

### **3.3.4 Investigación y construcción**

En España el uso de la madera como material estructural no está muy extendido y es debido, en gran parte a que no se tiene tan

en cuenta por razones de durabilidad y estabilidad ante situaciones de incendio y es por ello que tanto el acero y el hormigón se encuentran más arraigados actualmente en la cultura constructiva del país.

A pesar de estos factores, existen casos de edificios, en los que los arquitectos apostaron por el uso de la madera ya que podía ofrecer una alternativa mejor que sus dos competidores. Dando paso así a investigar y reconsiderar el uso y la importancia que le damos a este material hoy en día:

El edificio Sant-Qué, situado en Barcelona está diseñado por el arquitecto Pau Benach. El proyecto consistía en adaptar una vivienda unifamiliar existente construida entre medianeras en un solar relativamente pequeña, 98,2. Ante esta situación, para minimizar las cargas transmitidas a las cimentaciones, se decidió usar la madera debido a que suponía una reducción del peso propio en la estructura, 600Kg/m<sup>3</sup> frente a los 7850Kg/m<sup>3</sup> del acero.

Pero en este caso, el uso de la madera no sólo supuso una ventaja en lo que respecta al peso de la construcción, sino que supuso otra serie de ventajas:

- Ahorro económico y energético, pues la rapidez de construcción del sistema permitió finalizar la obra en un tiempo mucho menor que el que habría costado si la estructura hubiera sido metálica como se planteo en un inicio.

- Fue una obra ejecutada en seco, y la facilidad y precisión del montaje también se tradujo en un ahorro energético a largo plazo.

Edificio MOLHOT 50/50 . Este edificio se llamo así, porque debido al uso de la madera para su estructura, supuso un ahorro en la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este edificio de 8 plantas ubicado en Trondheim, se levantó en tan solo 5 semanas. En esta rapidez de ejecución destaca el menor impacto ambiental de la madera, con la que se ha ahorrado el 97% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en materiales.

Como en el caso anterior, los beneficios no se ven sólo en la parte medioambiental, sino que el ahorro económico también es reseñable, solo la estructura fue un 20% más barato que una construida con hormigón o acero.

Pero en estos proyectos de investigación y construcción con madera ¿Cuáles fueron las limitaciones con las que se encontraron?

- La tendencia de las estructuras en altura es de empujar su propio eje fuera del mismo, por lo que se añade rigidez. Con un módulo de Young alrededor de 12000 Nmm, las maderas contralaminadas son 3 veces más flexibles que el hormigón armado. .

-El fuego: Los edificios en madera se deberán calcular para que proporcione material de sobra para dar el tiempo suficiente para que el fuego pueda ser controlado. Se establecen tasas de carbonización sobre diferentes tipos de madera.

-Robustez: Este tipo de edificios son susceptibles al colapso progresivo. La pérdida de un componente puede redistribuir la carga y conducir al derrumbe secuencial de los elementos.

Una parte considerable de los trabajos de diseño de este edificio consistió en la evaluación de opciones para asegurar la solidez de las estructuras de madera en altura, como la posibilidad de añadir un núcleo sólido.

-Resistencia estructural: En el cálculo de estructuras se suele utilizar el método de la sección incompleta que calcula la resistencia del tablero teniendo en cuenta solamente las chapas que disponen paralelamente al esfuerzo (tracción o compresión) o las chapas que se orientan paralelamente al vano. Por otra parte se utilizan series de tornillos o calvos en puntos localizados para aliviar las concentraciones de esfuerzos.

-Movimiento dimensional de la madera: El control del movimiento de la madera es la clave para el desarrollo de estructuras de madera. Las tecnologías empleadas en la fabricación de este producto producen un material comparable en su estabilidad dimensional al hormigón y al acero. Durante el montaje de la obra, las placas de madera están sometidas a las variaciones climáticas debidas a los cambios de estación y a la obra misma.

- Coste: hay varias etapas en el proceso constructivo que hacen compensar esta diferencia de costes. Los paneles contra-laminados llegan en camión para su montaje en orden, se levantan inmediatamente. No hay gasto de almacenaje, tampoco desperdicio y no hay problema de lluvias. El lugar se mantiene limpio y ordenado en todo momento.

Las operaciones son repetitivas y seguras. Los tiempos de levantamiento se reducen en un 30% con los consiguientes ahorros en preliminares. Unas consideraciones secundarias incluyen su simplicidad y familiaridad en las fijaciones de la madera. Los errores pueden corregirse fácilmente con una sierra y con agujeros añadidos en el lugar.

### **3.3.5 Innovación del material**

En este momento la evolución de la tecnología permite obtener productos de madera más fiables y económicos, y mejor compor

tamiento, tanto desde el punto de vista constructivo como ecológico y medioambiental, permite a la madera competir a un alto nivel con otros materiales.

Como ya hemos nombrado anteriormente, existen organismos decididos a poner solución a estas limitaciones que explicábamos en el apartado anterior a la hora de construir nuestros edificios residenciales.

Uno de ellos es la EMPA (Laboratorio Federal de Materiales e Investigación) una organización Suiza que se dedica a la investigación de las 4 limitaciones presentes en la madera: la madera puede quemarse, pudrirse, tiene una resistencia limitada y es cara.

En su programa “National Research Program 66” de una madera alterada genéticamente. Cuenta con 6 puntos entre los cuales se investiga si la madera puede ser usada en construcción en edificios como nuevo material por excelencia. Los científicos de la EMPA están tratando de convertirla y transportarla para poder ampliar su gama de aplicaciones particularmente en la construcción.

Otros proyecto es “Vision Woods”, que consiste en que mediante procesos bioquímicos sofisticados se permiten conferir al material propiedades inalterables en el tiempo y tratamientos que modifican el comportamiento de la madera y modifican sus límites.

Otra organización que investiga con este recurso natural, es el ya nombrada con anterioridad Woodoo, fundada por Thimothée Boitoutzet. Este arquitecto, está centrado en re-descubrir el material y desarrollar una madera “ultrarresistente” teniendo en cuenta, que con el crecimiento de la población, es esencial pensar en construir de manera más respetuosa.

El proceso que conlleva la creación de esta madera consiste en la eliminación de la lignina de la madera respetando su micro-estructura y sustituyendo el espacio que deja esta por monómeros de base biológica y plástica a partir de la biomasa.

-En primer lugar esto densifica la madera, perdiendo ligereza y flexibilidad, y en segundo lugar crea enlaces fuertes entre las fibras de la madera. La madera resultante es tres veces más rígida.

-Después de esta transformación es resistente a la pudrición, al fuego y es tres veces más rígida que la madera original.

-Otra consecuencia de la sustitución de la lignina es que el material se vuelve traslucido, ya que permite el paso de la luz entre un 10-20% en función de la especie. Un activo predominantemente estético.

*“Hasta ahora los edificios de madera no podían exceder las doce plantas. Esta innovación puede construir enteramente edificios de madera de más de 30 pisos”.*  
*Woodoo*

Una de las preguntas que cabría hacerse es si este proceso después de todo mantiene las características ecológicas y de reciclaje que favorecen el uso de la madera. Pues, en estos términos, el proceso lo califican de ambientalmente responsable.

- El proceso consume dos veces menos energía que el hormigón y 130 veces menos que el acero.
- Siguen manteniéndose las propiedades de almacenaje de CO<sub>2</sub> de la madera.
- No es necesario usar madera de alta calidad. Con esta invención se pretende evitar el desperdicio de madera de mala calidad.
- El material que se usa en sustitución de la lignina es biodegradable.
- La lignina extraída de la madera es investigada para el desarrollo de biocombustibles. La reutilización reduce el coste de producción, haciendo de esta madera algo económico.
- La construcción con madera es seca y se utilizan materiales locales en vez de traer arena de otro país para luego mezclarla.

### 3.4 Comparativa final

Si se comparan las propiedades de la madera como material estructural con las del acero o el hormigón, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Elevada resistencia a la flexión, sobre todo en relación a su peso propio (la relación resistencia/peso es 1,3 veces superior a la del acero y 10 veces la del hormigón).
- Alta capacidad de resistencia a cortante. Esta limitación se presenta también en el hormigón pero no en el acero.
- Escasa resistencia a compresión y a tracción en dirección perpendicular a la fibra. Sobre todo en tracción, lo que supone una característica muy particular frente a los otros materiales.
- Bajo módulo de elasticidad, mitad que el hormigón y veinte veces menor que el del acero. Los valores alcanzados por el módulo de elasticidad inciden sustancialmente sobre la deformación de los elementos resistentes y sus posibilidades de pandeo. Este valor neutraliza parte de la buena resistencia a la compresión paralela a la cual se ha hecho referencia anteriormente.
- En la siguiente tabla se pueden ver las diferencias de los distintos materiales ante diferentes solicitaciones de carácter estructural.

Materiales	Flexión (N/mm2)	Tracción		Compresión		Cortante (N/mm2)	Modulo de elasticidad medio (N/mm2)	Densidad (kg/m3)
		(N/mm2)		(N/mm2)				
		0°	90°	0°	90°			
Madera -C24	24	14	0.5	21	2.5		11000	420
Hormigón HA25	-	1.79		25		1.79	32000	2500
Madera -C24	275	275		275		158	21000	7850

**Figura 3.2** Tabla información estructural  
**Fuente:** Maderea

La madera en comparación con los otros dos materiales tiene una gran ventaja ya que funciona también como almacén de CO<sub>2</sub>, compensando así el aporte de emisiones que tiene su procesado, mientras que el acero y el hormigón no funcionan como pueden funcionar como almacenado de carbono.

MATERIALES	EMISIONES NETAS (KgCO2/t)	ALMACENADO (KgCO2/t)
Madera aserrada	33	490
Hormigón	265	0
Acero	694	0

**Figura 3.3** Tabla información  
**Fuente:** Maderea



# 04

## METODOLOGÍA



Este estudio está enfocado esencialmente en la fase de construcción de la estructura y en la cantidad de material necesario para su construcción, es decir, el total de la energía embebida e incorporada que se emplea en cada una de ellas para su posterior comparación.

#### **4.1 Fase de extracción y fabricación de los materiales**

Esta fase nos proporcionará la energía gris o incorporada empleada en el proceso de extracción y fabricación de los materiales. Debido a que durante el proceso de fabricación, las distancias que recorren los transportistas, la disponibilidad de las fuentes de energía y la eficiencia de los sistemas industriales cambian dependiendo del área geográfica en la que nos encontremos, los resultados varían enormemente entre países y por lo tanto no existe una base de datos universal. Es por ello, que para esta investigación se ha decidido obtener los datos relacionados con la cantidad de material empleado en obra, las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y la energía consumida en todo el proceso, de un edificio residencial en los que los datos necesarios estuvieran ya cuantificados.

#### **4.2 Fase de construcción.**

De la misma manera en la que se han obtenido los datos necesarios para la fase de extracción y fabricación de los materiales y a causa de existir las mismas limitaciones en la definición de las características de la obra, se decide extraer la información del mismo edificio para poder obtener los datos necesarios de emisiones y energía utilizada en la construcción de la estructura.

#### **4.3 Objetos de estudio**

Para el desarrollo de la investigación se ha elegido trabajar con el hormigón armado, el acero y la madera. Siendo estos tres materiales los que pueden permitir en un futuro la construcción de nuestras ciudades en base a un futuro en el cual éstas serán mucho más densas.

Lo interesante de este análisis es demostrar la relevancia del uso de la madera en edificios residenciales. Cuantificando la energía embebida en la construcción de las estructuras y sabiendo que normalmente se emplean materiales en los cuales no están regulados ni su impacto ambiental, ni las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a ellos ni la cantidad de energía empleada.

Para ello en base a unos criterios de densidad de población, crecimiento de las ciudades y a la futura evolución social de la población con respecto al entorno familiar; estableceremos unos criterios mínimos que deberán cumplir las estructuras de este trabajo.

#### 4.4 Esquema metodológico

El trabajo está enfocado dentro del ACV (Análisis del Ciclo de Vida), concretamente la fase de construcción de la estructura del edificio mediante el siguiente esquema de trabajo.

Los datos o indicadores ambientales que se tendrán en cuenta para analizar y comprar los resultados son:

- Emisiones de CO<sub>2</sub> (KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>). Dióxido de carbono implicado en los procesos que tienen lugar durante las dos fases de estudio.
- Energía gris o incorporada y la energía gris (KWh/m<sup>2</sup>). Coste energético asociado a los procesos que se tienen durante las dos fases del estudio.
- Cantidad de material expresado en Kg en la construcción de las diferentes estructuras.
- Cantidad de material residual derivado de la creación de las estructuras.

Los pasos a seguir para el estudio comparativo son:

1. Recabar los datos medioambientales (emisiones de CO<sub>2</sub>, energéticos (KWh/m<sup>2</sup>) y cantidad de material utilizado en Kg) utilizado en un edificio de tipo residencial colectivo.
2. Obtención de los datos de la estructura a comparar en base a las necesidades de una sociedad más sostenible.
3. Comparar los resultados de las estructuras para la identificación de un mayor impacto ambiental en cuanto a energía.
4. Comparar los resultados de las estructuras para la identificación de un mayor impacto ambiental en cuanto a emisiones
5. Comparar los resultados de las estructuras para la identificación de un mayor impacto ambiental en cuanto a cantidad de material empleado
6. Comparar los resultados de las estructuras para la identificación de un mayor impacto ambiental en cuanto a residuos derivados de la construcción
7. Analizar estos resultados en el conjunto de las estructuras.
9. Obtener conclusiones y valorar si realmente es importante considerar la energía gris embebida a la hora de elegir los materiales de construcción y el papel de la madera como futuro material sostenible.



# 05

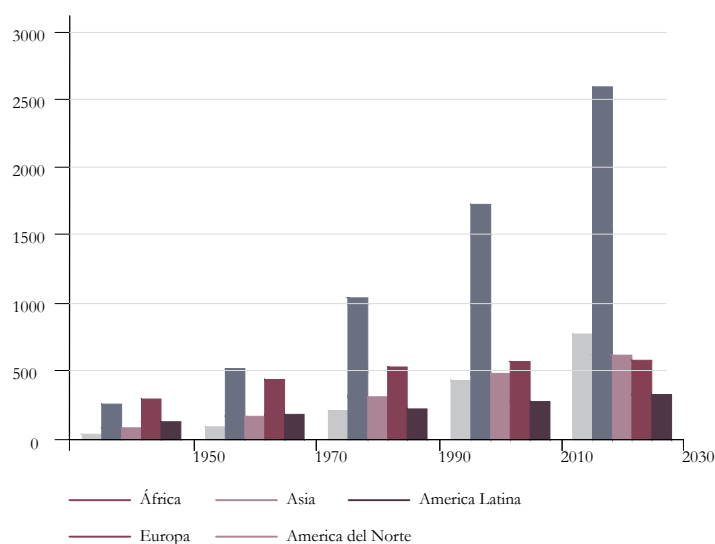
## DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA NUEVA ESTRUCTURA

Para el planteamiento de la estructura de este trabajo, se hace una interpretación de la situación actual y su desarrollo en un futuro en base a datos aportados por la ONU sobre el crecimiento de la población en las ciudades y la posible forma que podrían tener las familias en el futuro.

Se han producido muchos cambios sociales, pero pocos factores son tan esenciales para el desarrollo de la sociedad como el tamaño, la estructura y la distribución espacial de la población en el mundo. Las transiciones demográficas en curso, ligadas a alteraciones en los niveles y patrones de fertilidad, mortalidad y migración, sigue propiciando importantes cambios en el tamaño, en la estructura y en la distribución de las familias y de los hogares en el mundo.

Estos patrones de fertilidad sufren pequeñas variaciones que tendrán en un futuro grandes consecuencias sobre el tamaño y la estructura de la población mundial. Como ya hemos enunciado anteriormente, el tamaño de la población mundial crece considerablemente cada año, de mantenerse en la trayectoria, la población mundial alcanzaría los 8.1 millones en 2025 y 9.6 millones en 2050.

**Figura 5.1** Población viviendo en zonas urbanas  
Fuente: ONU

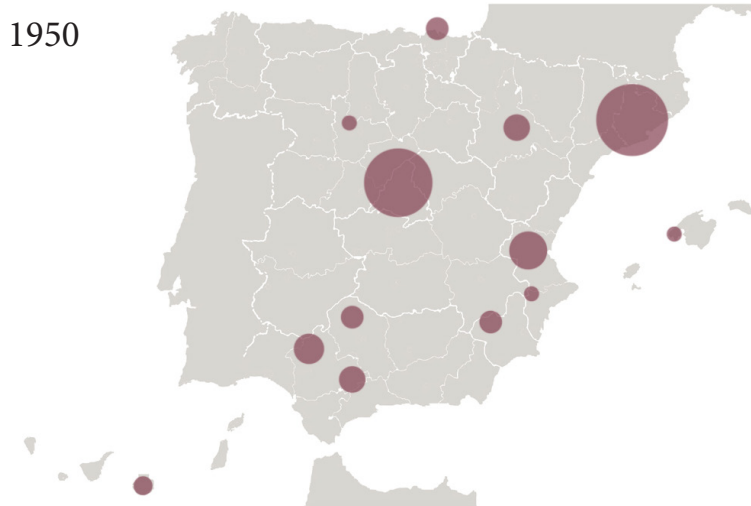


La presente hipótesis pretende ofrecer una perspectiva de cómo podrían cambiar las ciudades y la manera de habitarlas en un futuro no tan lejano con esta previsión:

Para nuestro estudio de la estructura elegimos España, por la proximidad y la accesibilidad a la información y porque se encuentra dentro de Europa, caracterizada por ser uno de los continentes más urbanizados del mundo. Hoy en día, más de dos tercios de la población europea viven en zonas urbanas.

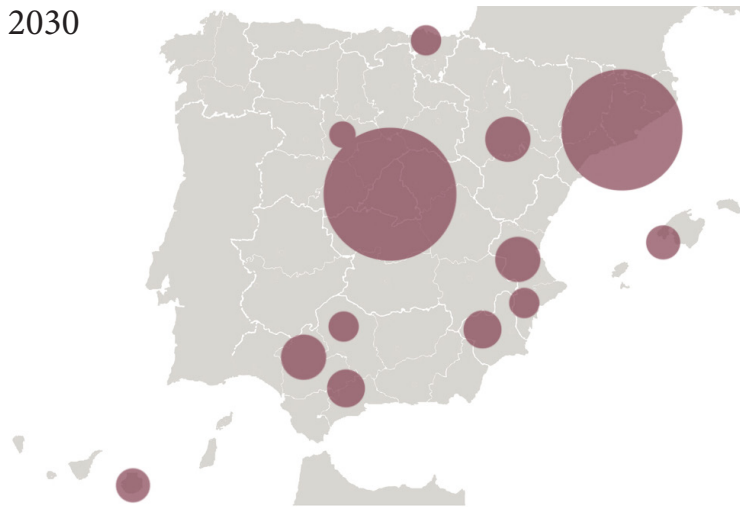
En España, actualmente el 80% de la población española vive en zonas urbanas y casi la mitad de la población, el 40 %, vivirá en 2030 en 15 grandes ciudades de más de 300.000 habitantes, cuando hace más de 50 años, ese porcentaje rondaba el 15.6% según los datos de la División de Población de las Naciones Unidas.

1950



**Figura 5.2** Población en 1930  
**Fuente:** Europapress

2030

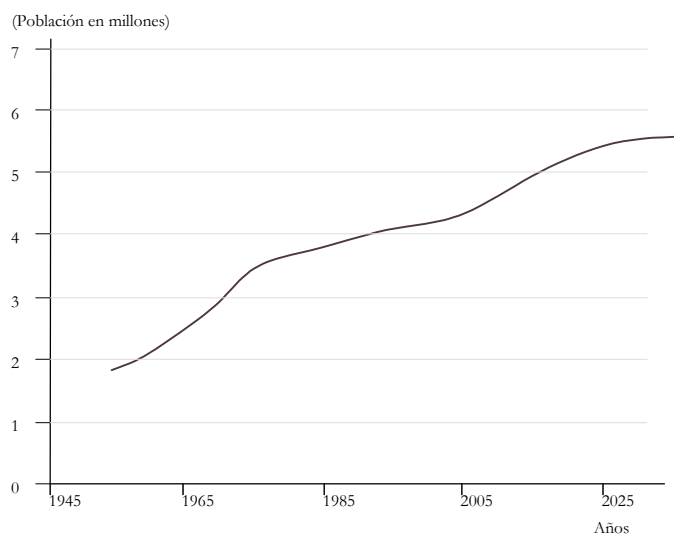


**Figura 5.3** Población prevista para 2050  
**Fuente:** Europapress

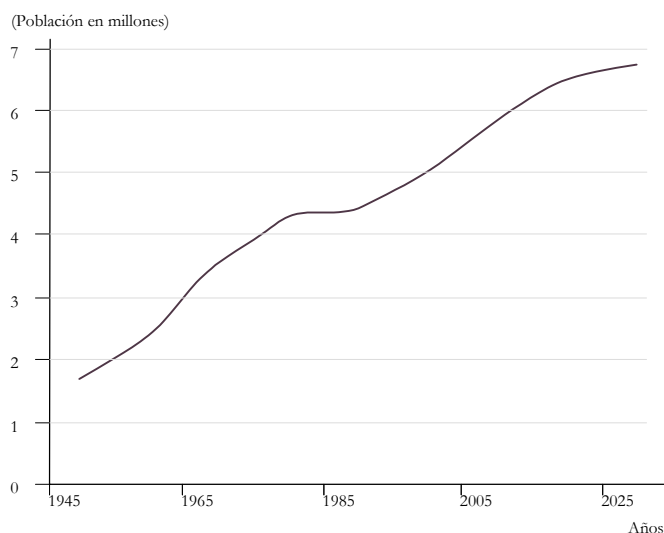
Este éxodo del campo a las grandes ciudades se repite en todas partes del mundo, aunque con matices. Para 2050 el 66% de la población mundial vivirá en zonas urbanas y, de ellos, el 14.4% lo hará en megaciudades, enormes urbes con más de 10 millones de habitantes. España ha pasado de ser un país rural a alcanzar en las últimas décadas al resto de Europa e crecimiento de las ciudades. Así la proporción de población que vive en municipios de menos de 300.000 personas no ha dejado de reducirse desde 1950.

Se elige Madrid y Barcelona para el estudio del aumento de la población porque este fenómeno afectará especialmente a estas dos ciudades en España. En el caso de Madrid este crecimiento implica multiplicar por 4 la población de la zona en menos de un siglo.

**Figura 5.4** Aumento de la población en Barcelona  
**Fuente:** Europapress



**Figura 5.5** Aumento de la población en Madrid  
**Fuente:** Europapress



¿Cómo afectará esto a la dimensión y organización de la población? Actualmente Madrid posee 3.116 millones de habitantes según el INE (2016) y se espera que para el 2050 los 6.707 millones de habitantes. Mientras que Barcelona posee 1.609 millones de habitantes (INE 2016) y en menos de 35 años se espera que su población crezca hasta los 5.685 millones de habitantes.

A nivel de organización de la población hay que remarcar que el concepto de familia como estructura ha sufrido variaciones a través de la historia según los retos a los que se enfrenta; en perspectiva encontramos como modelo central la familia nuclear, aunque, es un hecho innegable la diversidad en la estructura familiar en la que encontramos las familias monoparentales, las familias reconstituidas, las familias extensas, las familias de nuevo tipo etc.

Por lo tanto una de las primeras dudas que se aborda es ¿Cuántos metros necesito para construir una casa con esta nueva perspectiva de futuro? Los metros que necesitamos dependerán de nuestras necesidades actuales y futuras, pero además será necesario pensar cómo puede evolucionar nuestra familia y qué necesidades habrá en cada etapa. Según la ONU en los países más desarrollados la tasa de natalidad no deja de descender y por lo tanto el número de familias numerosas o con más de dos hijos está disminuyendo, al contrario que en países menos desarrollados donde la tasa de natalidad para 2050 habría casi duplicado su valor actual.

Por lo tanto para nuestro trabajo contaremos con que la estructura de la familia esté formada por 4 personas, que refleja el valor más repetido en estos momentos y que se prevé que aún con ese descenso en la tasa de natalidad.

La normativa española establece que para una superficie mínima habitable, se necesitan 30 m<sup>2</sup>, pero si estamos hablando de cuántos metros cuadrados necesitamos para construir una casa donde vivir, deberíamos, como mínimo, contar con una superficie a partir de 60-70 m<sup>2</sup> para dos personas y de 100 m<sup>2</sup> aproximadamente para familias de 4 personas.

¿Cuánto aumento de área geográfica supondría ese aumento de población? Actualmente Barcelona es la ciudad con más densidad de población de España, 15873,2 hab/km<sup>2</sup> en un área geográfica de 102.16 km<sup>2</sup>, mientras que Madrid sorprendentemente cuenta con una densidad de 5.198 hab/km<sup>2</sup> en un área geográfica de 605.77 km<sup>2</sup>.

El aumento en Barcelona de 4 millones de habitantes supondría tal y como se construyen ahora los edificios residenciales y manteniendo la densidad, una extensión de 252 km<sup>2</sup>. En el caso de Madrid, el aumento de casi 3 millones de habitantes supondría una extensión de casi 500 km<sup>2</sup>. Suponiendo que la media de altura de los edificios residenciales es de 12 plantas, con edificios de 25 plantas, aumentando la densidad de las ciudades casi en el doble para poder albergar ese aumento de personas y con una superficie en planta de 225 m<sup>2</sup>, lo que nos permitiría albergar por planta como mínimo a dos familias. Se conseguiría reducir esa superficie a más de la mitad.

La identificación y cuantificación de los materiales de construcción y sus correspondientes emisiones y gasto energético permitirá conocer el impacto ambiental de la tipología definida, a través de los indicadores de impacto ambiental más relevantes asociados al peso por m<sup>2</sup> de construcción como son las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del proceso de fabricación de los materiales de construcción y la evaluación de la madera como material esencial para una construcción sostenible.





# 06

## DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS CASOS

El objetivo del presente capítulo es poder comparar, desde el punto de vista del impacto ambiental y energético los diferentes materiales en una misma tipología de estructura.

Al no poder realizar los cálculos de esta construcción se toma como modelo de referencia, una construcción de carácter residencial con las siguientes condiciones. Edificio de 2000m2 en total realizado el cálculo en hormigón armado, acero y madera convencional. De manera que es posible extrapolar los datos a nuestra investigación.

## 6.1 Estructura de hormigón

Este sistema representa una de las técnicas constructivas más difundidas en la construcción de edificios de vivienda en España, prácticamente no incluye ningún elemento prefabricado, sino que su proceso se basa en la adición de materiales y componentes mediante un intenso trabajo manual y mecánico en la obra.

Las características de la estructura son:

- Cimentaciones con zapatas y vigas de atado de hormigón armado
- Estructura de pilares, vigas y forjados unidireccionales (25+5cm) de hormigón armado.

MATERIALES		Kg/m2
Acero	<b>11% Cimentación, 39% E. comunes, 13% Estructura</b>	<b>32.87</b>
Acero esmaltado	100% Cerramiento ext. secundario	2.25
Acero galvanizado	<b>28% Estructura, 28% Acab. interiores 26% Cerramiento Ext.</b>	<b>5.49</b>
Acero laminado galvanizado	58% E.comunes, 39% Cerramiento ext.sec, 3% Equip.fijo	10.70
Agua	<b>25% Cimentación, 32% Estructura, 21% Acab.interior</b>	<b>93.93</b>
Aluminio anodizado	99% Cerramientos ext.sec	2.77
Aluminio lacado	100% Cerramiento ext.sec	0.56
Arido	<b>40% Cimentación, 41% estructura, 7% Acab.int.</b>	<b>863.94</b>
Cemento	<b>30% Cimentación, 37% estructuras, 7% Acab. int</b>	<b>121.10</b>
Cerámica esmaltada	100% Acab.int	4.96
Cobre recocido	99% Ints.elec,1% Int.audio	0.45
Ladrillo cerámico	51% Fachada principal, 49% Divisiones int,	110.45
Mortero prefabricado	<b>100% Estructura</b>	<b>90.27</b>
Neopreno	100% Cerramiento ext.sec	0.67
Poliestireno extruido	100% Cubierta	0.59
Polipropileno	70% Saneamiento, 20% Red agua fría, 10% Cubierta	1.54
PVC	55% Inst. elec, 18% Inst.audio, 15% Cubierta	1.63
Tablero de madera	100% Equip.fijo	16.98
Terrazo	100% Acab. int	42.51
Yeso	100% Acab.int	16.60
<b>Total</b>		<b>1420.26 Kg/m2</b>

**Figura 6.1** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

En el baremo total de la obra, los materiales que mayor carga de impacto ambiental concentran son los aceros, que llegan a representar hasta un tercio de la energía, los aluminios, con cerca del 20% y el cemento que se sitúa en alrededor del 15%.

Es significativo también la gran cantidades de agua involucrada por m2 en la construcción de la estructura

De la tabla se extrae que en el proceso de construcción de la estructura se han utilizado: 37.220,00 Kg de acero, 1.741.400,00 Kg de hormigón armado y 187.860,00 Kg de agua.

Es decir: un total de 1.779.620,00 Kg material ( sin incluir el agua).

### 6.1.2 Fase construcción de la estructura

SUBSITEMAS	MJ/m2	%	KgCo2/m2	%
Replanteo y movimiento de tierras	0.00	0.00%	0.00	0.00%
<b>Cimentaciones y muros de contención</b>	<b>289.57</b>	<b>5.38%</b>	<b>40.07</b>	<b>6.67%</b>
Espacios comunes	306.22	5.69%	30.62	5.10%
<b>Estructura</b>	<b>1448.21</b>	<b>26.92%</b>	<b>139.95</b>	<b>23.31%</b>
Cubierta	156.10	2.90%	25.6	4.26%
Fachada principal	4168.97	3.14%	15.7	2.61%
Divisiones internos primarios	149.16	2.77%	14.26	2.37%
Acabados exteriores	9.01	0.17%	1.05	0.17%
Acabados interiores	464.81	8.64%	52.36	8.72%
Cerramientos ext y int secundarios	1404.87	26.11%	173.69	28.92%
Saneamiento	143.48	2.67%	18.99	3.16%
Red agua	70.14	1.30%	8.78	1.46%
Electricidad e iluminación	213.69	3.97%	25.24	4.20%
Gas y combustible	3.47	0.06%	0.36	0.06%
Climatización y ventilación	205.45	3.82%	21.00	3.50%
Audiovisuales	16.21	0.30%	2.36	0.39%
Aparatos de elevación	50.60	0.94%	4.87	0.81%
Protección contra incendios	3.43	0.06%	0.46	0.08%
Finisiamiento fino	276.89	5.15%	25.13	4.18%

**Figura 6.2** Cantidad material estructura hormigón  
Fuente: Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

La datos más relevantes se concentran en las cimentaciones y la estructura, son significativos, ya que reúnen alrededor del 50% del peso y el 30% de las energías y emisiones.

(Se tienen en cuenta solo las tareas de construcción in situ en las que intervienen maquinaria. La aportación de energía manual no se tiene en cuenta debido a las dificultades metodológicas debido a que no resulta sencillo determinar la parte del consumo de energía de un ser humano estrictamente relacionada con su trabajo de aquella necesaria para el resto de sus actividades).

De la tabla se extrae que en edificio se han empleado 579.140,00 MJ de energía para la construcción de la cimentación y 2.896.420,00 MJ de energía para la construcción de la estructura. En total, la energía empleado son 3.475.560,00 MJ, un 32.40% del total.

Además, se han emitido 80.140,00 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> en la construcción de la cimentación y 279.900,00 KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> en la construcción de la estructura. En total la cantidad de emisiones emitidas a la atmósfera

asciende a 360.040,00 KgCO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, un 29,98% del total.

### 6.1.3 Fase construcción .Residuos in situ

**Figura 6.3** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

RESIDUOS IN SITU	Estructura	Cerramientos	Acabados
Residuos Kg	18260	143160	92720

La construcción de la estructura supone la creación de 18.260 Kg de residuos, de los cuáles, una menor parte son los aceros.

Estos tienen un porcentaje de reciclado habitual del 90%. A pesar de esto, el hormigón no es un material que se pueda reciclar y por lo tanto el nivel de material en residuos supone un dato muy significativo a tener en cuenta.

## 6.2 Estructura de acero

Solución modular de acero más extendida en el mercado. Su origen se remonta a la fabricación de contenedores de transporte. La evolución constructiva de estos últimos hacia espacios envolventes de mayores prestaciones en cuanto a las exigencias de habitabilidad ha dado lugar a sistemas modulares de acero de mayor sofisticación.

Las características de la estructura son:

- Cimentaciones prefabricadas de hormigón armado
- Estructura vertical de perfiles tubulares de acero galvanizado.

### 6.2.1 Fase de extracción y fabricación de los materiales

MATERIALES		Kg/m2
Acero	<b>46% E.comunes, 30% Terrazas, 19% Cimentación.</b>	<b>6.93</b>
Acero conformado	<b>81% Estructura, 13% E.comunes</b>	<b>15.28</b>
Acero conformado galvanizado	100% Fachada	4.09
Acero galvanizado	<b>78% Estructura, 9% Fachada, 2% E.comunes</b>	<b>30.77</b>
Acero laminado	19% E.comunes, 68% Estructura, 11% Terrazas	27.63
Acero precado	59% Estructura, 26% Cubierta, 15% Fachada	11.75
Agua	<b>83% Cimentación, 10% E.comunes</b>	<b>15.61</b>
Aluminio lacado	100% Fachada	1.16
Arido	<b>89% cimentación, 10% E.comunes</b>	<b>185.07</b>
Cemento	<b>93% Cimentación, 15% E.comunes</b>	17.05
Cobre recocido	99% Inst.elec	0.45
Espuma de poliuretano	<b>91% Estructura, 9% Fachada</b>	<b>2.29</b>
Imprimación antioxidante	<b>72% Estructura, 17% E.comunes,</b>	<b>4.77</b>
Neopreno	8% Fachada, <b>19% Estructura</b>	<b>2.55</b>
Nylon	57% E.comunes, 42% Cubierta	0.83
Polipropileno	77% Saneamiento, 20% Red agua	1.51
Poliuretano	84% Estructura modulo, 9% Fachada	4.63
PVC	64% Rev.int, 23% Baño, 12% Ap. elev	1.54
Tablero de madera	167% Mobiliario, 33% Estructura	30.24
Vidrio	100% Fachada	5.30
Yeso	100% Revestimiento interior	13.50
Yeso laminado	100% Revestimiento interior	12.26
<b>Total</b>		<b>395.22 Kg/m2</b>

**Figura 6.4** Cantidad material estructura hormigón  
Fuente: Wadel, G.. "Análisis comparado de 4 tipos de estructura".

Los materiales de mayor carga de impacto son los que tienen menor impacto en el peso, debido a los procesos previos que llevan esos materiales antes de su puesta en obra, la necesidad de imprimación antioxidante y a la protección contra el fuego en el caso del acero hace que se ponga por delante de muchos materiales que lo superan ampliamente en peso.

De la tabla se extrae que en el proceso de construcción de la estructura se han utilizado: 89.260,00 Kg de acero, 357.720,00 Kg de hormigón armado y 31.220,00 Kg de agua.

Es decir: un total de 446.980,00 Kg material ( sin incluir el agua).

### 6.2.2 Fase de construcción

SUBSITEMAS	MJ/m2	%	KgCo2/m2	%
Replanteo y movimiento de tierras	0.00	0.00%	0.00	0.00%
<b>Cimentaciones y muros de contención</b>	<b>113.48</b>	<b>3.87%</b>	<b>9.68</b>	<b>3.31%</b>
Espacios comunes	217.57	7.42%	21.98	7.51%
Cubierta	166.02	5.66%	20.93	7.15%
Fachadas laterales	108.07	3.69%	7.63	2.61%
<b>Estructura</b>	<b>456.09</b>	<b>15.55%</b>	<b>32.44</b>	<b>11.08%</b>
Fachada acceso	114.65	3.91%	8.79	3.00%
Fachada terraza	135.78	4.63%	10.95	3.74%
Revestimientos interiores	263.47	8.98%	24.29	8.29%
Mobiliario	336.06	11.46%	30.77	10.51%
Baño	274.24	9.35%	40.03	13.67%
Terraza	40.54	1.38%	3.30	1.13%
Saneamiento	143.48	4.89%	18.99	6.48%
Red agua	70.14	2.39%	8.78	3.00%
Electricidad e iluminación	213.69	7.29%	25.24	8.62%
Gas y combustible	3.47	0.12%	0.36	0.12%
Climatización y ventilación	205.45	7.01%	21.00	7.17%
Audiovisuales	16.21	0.55%	2.36	0.81%
Aparatos de elevación	50.60	1.73%	4.87	1.66%
Protección contra incendios	3.43	0.12%	0.46	0.16%
<b>Total</b>	<b>2932,44</b>		<b>292.85</b>	

**Figura 6.5** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** adel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

(Como en el caso de antes de tienen en cuenta solo las tareas de construcción in situ en las que intervienen maquinaria. La aportación de energía manual no se tiene en cuenta debido a las dificultades metodológicas debido a que no resulta sencillo determinar la parte del consumo de energía de un ser humano estrictamente relacionada con su trabajo de aquella necesaria para el resto de sus actividades). )

De la tabla se extrae que en edificio se han empleado 226.960,00 MJ de energía para la construcción de la cimentación y 6.407.300,00 MJ de energía para la construcción de la estructura. En total, la energía empleado son 6.634.260 MJ, un 19.42 % del total.

Además, se han emitido 19.360,00 KgCO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> en la construcción de la cimentación y 665.440 KgCO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> en la construcción de la estructura. En total la cantidad de emisiones emitidas a la atmósfera asciende a 684.800 KgCO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, un 42.12% del total.

### 6.2.3 Fase construcción .Residuos in situ

RESIDUOS IN SITU	Pétreos	Yeso	Pap/car	Plástico	Madera	Metal
Totales en Kg	27.52	0.00	131.18	1.04	52.64	<b>151.97</b>
% reciclado habitual	00.00	0.00	90.00	50.00	50.00	<b>90.00</b>
Material reciclado	00.00	0.00	118.06	0.52	26.30	<b>140.4</b>
<b>Residuos</b>	<b>27.52</b>	<b>0.00</b>	<b>13.12</b>	<b>0.52</b>	<b>26.32</b>	<b>15.20</b>

**Figura 6.6** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

Debido a la alta reciclabilidad del acero ( 90% habitualmente), de los 157, 97 Kg de residuos iniciales, se podrían volver a aprovechar 136.77 Kg , dejando unos residuos finales de 15.20 Kg.

## 6.3 Estructura de madera

El sistema de madera representa una solución constructiva de menor difusión global, aunque presente desde hace décadas en el mercado de Europa central y norte. La protección al fuego se logra mediante tratamiento ignífugo de la madera y por el aumento del espesor. Ciertos elementos de otros materiales, como la cimentación y refuerzos pueden ser necesarios en ocasiones.

Las características de la estructura son:

- Cimentaciones prefabricadas de hormigón armado (bases y riostras)
- Estructura vertical de paneles laminados de picea austriaca, 94mm de espesor.
- Forjado interior y forjado de cubierta de paneles laminados de picea austriaca de 102 y 94 mm de espesor respectivamente.

### 6.3.1 Fase de extracción y fabricación de los materiales

MATERIALES		Kg/m2
<b>Acero</b>	<b>47% Cimentación, 39% E. comunes, 13% Elevación</b>	<b>2.77</b>
<b>Acero conformado galvanizado</b>	<b>100% Estruc.</b>	<b>0.91</b>
Acero galvanizado	39% Fach terr, 22 % Fach. acc. 11% E.comunes, 8% Mob	4.34
Acero inoxidable	66% Ap. Elevación, 30% Inst. climática.	0.21
Acero laminado	18% E. comunes, 32% Mob., 20% Inst. climática	0.92
Acero negro	100% Inst.climática	1.51
Adhesivo acrílico	<b>79% Estructura, 8% E.comunes, 3% Fach.acc.</b>	<b>2.35</b>
<b>Agua</b>	<b>83% Cimentación, 15% E.comunes, 1! Fach.acc.</b>	<b>15.62</b>
Aluminio	66% Ap.Elevación, 30% Inst.climática	0.11
<b>Árido</b>	<b>84% Cimentación, 9% E. comunes, 6% Cubierta</b>	<b>195.52</b>
Barniz	38% E.comunes, 10% Revest, 10% Baño.	0.61
Betún asfáltico	99% Cubierta, 1% E.comunes	1.34
Caucho sintético	100% Baño	2.29
<b>Cemento</b>	<b>84%Cimentación, 14% E.comunes, 1% Fachada</b>	<b>16.95</b>
Cobre	99% Ap.elevación	0.31
Cobre recocido	99% Inst.elect,	0.45
Lana de roca	39% Revest interior, 26% Cubierta, 29% Fachada	7.62
<b>Madera</b>	<b>71% Estructura, 9% E.comunes 10% Fachadas</b>	<b>186.36</b>
Neopreno	100% Estructura	0.48
Nylon	46% E.comunes, 36%Cubierta, 16% Revestimiento	0.97
Polietileno	38% Cubierta, 17% Saneamiento, 15% Inst. climática, 5% Fachada	0.49
Polipropileno	50% E.comunes, 35% Saneamiento, 14% Red agua	1.51
PVC	15% E.comunes, 8% Cubierta, 37% Inst. elec, 10%Inst. aud	1.33
Silicona	9% Fachada, 91% Revestimiento	0.27
Tablero aglomerado	100% Fachada	3.28
Tablero de madera	99% Fachada	20.41
Vidrio	100% Fachada	4.81
Yeso	100% Revestimiento interior	13.50
Yeso laminado	100% Revestimiento	12.26
<b>Total</b>		<b>499.76 Kg/m2</b>

Los materiales con mayor carga de impacto son los que tienen menor repercusión en peso. En energía las posiciones cambian, aunque la importancia de los materiales sintético frente a la madera, masivamente utilizada, no varía.

De la tabla se extrae que en el proceso de construcción de la estructura se han utilizado: 4.420,00 Kg de acero, 356.940,00 Kg

**Figura 6.7** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.



de hormigón armado, 264.640 Kg de madera y 25.880,00 Kg de agua.

Es decir: un total de 626.000,00 Kg material ( sin incluir el agua).

### 6.3.2 Fase construcción de la estructura

SUBSITEMAS	MJ/m2	%	KgCo2/m2	%
Replanteo y movimiento de tierras	0.00	0.00%	0.00	0.00%
<b>Cimentaciones y muros de contención</b>	<b>113.48</b>	<b>3.87%</b>	<b>9.68</b>	<b>3.31%</b>
Espacios comunes	217.57	7.42%	21.98	7.51%
Cubierta	166.02	5.66%	20.93	7.15%
Fachadas laterales	108.07	3.69%	7.63	2.61%
<b>Estructura</b>	<b>456.09</b>	<b>15.55%</b>	<b>32.44</b>	<b>11.08%</b>
Fachada acceso	114.65	3.91%	8.79	3.00%
Fachada terraza	135.78	4.63%	10.95	3.74%
Revestimientos interiores	263.47	8.98%	24.29	8.29%
Mobiliario	336.06	11.46%	30.77	10.51%
Baño	274.24	9.35%	40.03	13.67%
Terraza	40.54	1.38%	3.30	1.13%
Saneamiento	143.48	4.89%	18.99	6.48%
Red agua	70.14	2.39%	8.78	3.00%
Electricidad e iluminación	213.69	7.29%	25.24	8.62%
Gas y combustible	3.47	0.12%	0.36	0.12%
Climatización y ventilación	205.45	7.01%	21.00	7.17%
Audiovisuales	16.21	0.55%	2.36	0.81%
Aparatos de elevación	50.60	1.73%	4.87	1.66%
Protección contra incendios	3.43	0.12%	0.46	0.16%
<b>Total</b>	<b>2932.44</b>		<b>292.85</b>	

**Figura 6.8** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

(Como en los casos anteriores de tienen en cuenta solo las tareas de construcción in situ en las que intervienen maquinaria. La aportación de energía manual no se tiene en cuenta debido a las dificultades metodológicas debido a que no resulta sencillo determinar la parte del consumo de energía de un ser humano estrictamente relacionada con su trabajo de aquella necesaria para el resto de sus actividades). )

De la tabla se extrae que en edificio se han empleado 226.960,00 MJ de energía para la construcción de la cimentación y 912.180,00 MJ de energía para la construcción de la estructura. En total, la energía empleado son 139.140 MJ, un 19.42 % del total.

Además, se han emitido 19.360,00 KgCO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> en la construcción de la cimentación y 64.880,00 KgCO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> en la construcción de la estructura. En total la cantidad de emisiones emitidas a la atmósfera asciende a 108.840 KgCO<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, un 42.12% del total.

### 6.2.3 Fase construcción .Residuos in situ

RESIDUOS IN SITU	Pétreos	Yeso	Pap/car	Plástico	Madera	Metal
Totales en Kg	27.52	0.00	131.17	0.84	52.64	<b>151.97</b>
Espacios comunes	00.00	0.00	90.00	50.00	50.00	<b>90.00</b>
Cubierta	00.00	0.00	185.05	0.42	26.30	<b>136.77</b>
<b>Residuos</b>	<b>27.52</b>	<b>0.00</b>	<b>13.12</b>	<b>0.42</b>	<b>26.30</b>	<b>15.20</b>

**Figura 6.9** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

Debido a la alta reciclabilidad del acero ( 90% habitualmente), de los 157, 97 Kg de residuos iniciales, se podrían volver a aprovechar 136.77 Kg , dejando unos residuos finales de 15.20 Kg.

## 6.4 Análisis comparativo

Estructura	Kg (de material total)	Energía (MJ) empleada	Kg(CO2) emitidos materiales	Kg(CO2) emitidos construcción	Kg(CO2) almacenados	Residuos (Kg)
Hormigón	1.779.620,00	3.475.560,00	487.301.680,00	360.040,00	0,00	18.260,00
Acero	446.980,00	6.634.260,00	156.742.240,00	684.800,00	0,00	15,20
Madera	626.000,00	139.140,00	86.389.700,00	108.840,00	129.673.600,00	26,32

**Figura 6.10** Cantidad material estructura hormigón  
**Fuente:** Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.

“En arquitectura un edificio de 100 metros de altura, no puede ser concebido simplemente como si fuera 10 veces mayor que un edificio de 10 metros de altura, si multiplicamos por 10 el tamaño de un edificio, la superficie quedaría multiplicada por 102, mientras que su volumen (o lo que es lo mismo el peso) quedaría multiplicado por 103. Es decir, en figuras similares, la superficie aumenta con el cuadrado, mientras que el volumen aumenta en relación a su área específica.” (Eloy Celada, El Mundo)

Por lo tanto con los datos extraídos del edificio no se puede establecer una relación de proporcionalidad directa entre un edificio de baja +3 y una torre de 25 plantas de altura debido a que, sobre todo en cimentaciones y en las primeras plantas, el incremento de la cantidad de material sería muy significativo. Lo que sí se puede establecer es que existe una proporción exponencial, cuánto más alto se vuelve el edificio más caro es tanto desde el punto de vista energético, como de uso de material y de emisiones de Co2 a la atmósfera.

En la tabla de resultados, podemos señalar que la diferencia de los materiales en cualquier de los campos estudiados, es cuantitativamente significativa.

Podemos afirmar que:

- Se gasta 18.8 veces más material en estructuras de hormigón armado que en estructuras de madera. En el caso del acero, la madera al contar con los 3 materiales, gana a este último con una proporción de 1.4 veces.
- En el caso de hormigón armado se emplea casi 30 veces la energía empleada en la madera, y en el caso del acero el gasto de energía es 47 veces mayor.
- Las emisiones producidas en la elaboración de los materiales necesarios para una estructura de hormigón armado son 5.6 veces mayor en el caso del hormigón armado y 1.8 veces mayor en el caso del acero.
- En cambio las emisiones producidas en la construcción son 3.3 veces mayor en una estructura de hormigón y 6.3 veces en el caso de la estructura en acero.
- De estas emisiones, el hormigón y el acero son incapaces de almacenar en su interior una parte de ellas. En cambio la madera, absorbe más CO<sub>2</sub> del que genera.
- Las estructuras en hormigón armado generan más de 500 veces la cantidad de residuos que una estructura de madera, pero en cambio, debido a la alta reciclabilidad del acero, este deja casi 0.6 veces menos residuos que la madera.

Con esto podemos afirmar, que la madera a niveles de sostenibilidad es evidentemente un material a tener en consideración para la construcción. La energía demandada durante su construcción y la cantidad de emisiones emitidas a la atmósfera, constituyen una combinación de factores que estarán presentes durante toda la vida útil del edificio y que forman parte de un conjunto de decisiones que deben realizarse durante la etapa del proyecto. Las conclusiones indican, que en el caso de querer mejorar los niveles medioambientales y climáticos, la elección de la madera supondría una buena opción y oportunidad de mejora en este campo.

# 07

## CONCLUSIÓN

A lo largo de la historia, el sector de la construcción se ha convertido en un indicador de la evolución de las sociedades, que se han caracterizado por su capacidad de desarrollar y producir los materiales necesarios para satisfacer sus necesidades. Algunos de estos materiales, como el hormigón armado y el acero, supusieron una gran innovación para su época mientras que dejaban al mismo tiempo relegados a un segundo plano, a materiales más tradicionales como la madera, por no cumplir las exigencias necesarias. Obviamente, el crecimiento exponencial de la población mundial, ha hecho que estos materiales hayan llegado a un punto de sobreutilización o uso masivo de los mismos creando así una serie de problemas, como pueden ser energéticos, ecológicos y medioambientales. Consecuentemente, debido a esto, nuestras necesidades han cambiado, y están enfocadas a encontrar alternativas más sostenibles que las actuales.

Actualmente, la sociedad ha tomado una nueva dirección y nuevas prioridades como son la sostenibilidad y el impacto ecológico creado por el hombre. Debido en parte a ello, así como a las nuevas capacidades y al progreso tecnológico se están llevando a cabo experimentos para lograr alternativas sostenibles y biodegradables: conchas marinas, cáscaras de huevo, telas de araña. En la carrera por reemplazar las construcciones de hormigón y acero, la naturaleza es el primer referente.

A día de hoy, se están creando métodos o procedimientos de ahorro energético, una vez el edificio está construido y así reducir nuestra huella en la naturaleza. Es obvio, que esta fase de uso tiene un gran peso en términos de impacto energético y emisiones e efecto invernadero, no obstante, hemos podido observar que la correcta elección de los materiales de construcción, podría suponer el principal factor de reducción. Un mejor conocimiento y entendimiento de la relación entre los diversos factores que intervienen en los procesos de obtención de los materiales y de construcción con los mismos, podría contribuir y favorecer la elaboración de medidas para alcanzar los objetivos de desarrollos actuales y futuros.

A primera vista, hablar de la construcción con madera no es algo que parezca muy ecológico. No obstante, en Suiza y Francia crecen cada año 10 millones de metros cúbicos de madera, de los cuales solo dos partes de ellos son utilizados, por ello estos bosques se están expandiendo y haciéndose cada vez más viejos. Adicionalmente, la construcción en madera lleva de la mano un mayor porcentaje de reposición de árboles talados.

“Pero la madera en la construcción de edificios, hace que se aumente el consumo de la misma y por consecuencia esta actúa como almacén de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), purificando el aire y contribuyendo a la reducción del efecto invernadero.”

Como se demuestra en este trabajo, el uso de la madera en la construcción de edificios puede llegar a ahorrar 18 veces más material que con el uso del hormigón armado y con ello generar hasta casi 500 veces menos residuos durante el proceso de construcción.

Supone incluso reducir entre 30 y 47 veces (hormigón armado y acero respectivamente) la energía involucrada en el proceso de construcción. Este último dato afecta obviamente a la reducción de las emisiones de efecto invernadero, suponiendo el uso de la madera una disminución de entre 3.3 y 6.3 veces (hormigón armado y acero respectivamente) de estas emisiones. .

Además de las actuales vías de investigación, las cuales se centran en cómo aplicar la madera de una manera estructural para poder resolver nuestras necesidades existentes, se encuentran también abiertas, otras líneas de investigación que estudian cómo utilizar la madera de una manera innovadora:

- Aislantes de fibra de madera: mediante el uso de enzimas naturales se trabaja en producir una alta calidad de placas de aislamiento de fibra de madera. Este método satisface las demandas de sostenibilidad y responde a las demandas de los consumidores para una vida saludable y de eficiencia energética.

- Revestimientos superficiales con celulosa nano-fibrilada : Componente novedoso para la madera al aire libre que aumenta su durabilidad significativamente en comparación con los recubrimientos convencionales. Se espera especialmente que mejore la protección UV, la impermeabilización, la resistencia al desgaste y la prevención de grietas e infestación de microorganismos.

- Superficies de madera antimicrobiana: Como resultado dan una superficie de madera que ofrece una protección duradera contra la infestación por microorganismos no deseados. Esto resulta en una propiedad impermeable hasta las capas más profundas mientras que preserva la apariencia de madera sin tratar.

- Madera mineralizada: utilizando los métodos desarrollados es posible incrustar minerales de manera profunda dentro de la estructura de madera. Su almacenamiento puede ser controlado y tiene lugar en las paredes celulares de la madera. Como resultado, la madera tratada consigue una mayor resistencia a la llama.

Con todo esto se demuestra la importancia de investigar el ACV en el sector de la madera, que hasta ahora ha sido nulo y casi desconocido en los países de desarrollo industrial. El presente estudio, que hace hincapié en señalar los principales alcances y limitaciones de este material pretende difundir una nueva manera de entender la importancia de la elección de los materiales de construcción, y en concreto una nueva manera de ver la madera.

# 08

## BIBLIOGRAFÍA



Villar-Burke, R., Jiménez-González, D, Larrumbide, E., Tenorio, J.A. (2014). Impacto energético y emisiones de CO2 del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la Construcción*, 66(535): e030, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.085>.

Stark Zeumer, H.F, (2008). *Atlante della Sostenibilità*. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

Schulitz, H.C., Werner, S. y Habermann, K.J. (2008). *Atlante dell'Acciaio*. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

Natterer, J., Herzog, T., Werner, S. y Volz, M. (1998). *Atlante del Legno*. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

Kind-Barkauskas, F., Kauhsen, B., Polóny, S. y Brandt, J. (2004). *Atlante del Cemento*. Milán: UTET SCIENZE TECNICHE

Santamouris, M. (2016). "Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change". Athens: Elsevier <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.021>

TIMOTHÉE BOITOUZET, "La madera con la que se construirán los rascacielos del futuro". Youtube "<https://www.youtube.com/watch?v=aimD80pTdas>"

*Informes de la construcción* (2015), vol. 67, EXTRA-1, marzo 2015. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.2015.v67.iExtra-1>

Copello, S. (2016). "Economic implications of the energy issue: Evidence for a positive non-linear relation between embodied energy and construction cost". Venice: Elsevier <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.054>

Dixit, Manish K. (2016). "Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters". United States: Elsevier <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.051>

Sartori, I. y Hestnes, A.G, (2006). "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article". Norway: Elsevier doi:10.1016/j.enbuild.2006.07.001

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. y Pout, C, (2007). "A review on buildings energy consumption information". Spain: Elsevier doi:10.1016/j.enbuild.2007.03.007

Praseeda, K.I., Venkatarama, B.V. y Mani, M, (2015). “Embodied and operational energy of urban residential buildings in India”. India: Elsevier <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.072>

Vázquez Espí, M (2001). “Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales”. Madrid: Instituto Juan Herrera <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n20/amvaz.html>

CONSTRUPEDIA. Impactos Ambientales en el Sector de la Construcción. [Consulta: 20 de julio de 2017]

QUISPE GAMBOA, CLAUDIA N. (2013). Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO2 aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética. Trabajo Final de Máster. Cataluña: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, [Consulta: 19 de marzo 2017]

Naciones Unidas. (2014). La situación demográfica en el mundo. Nueva York: Naciones Unidas

Naciones Unidas. (2001). Urbanización, los hechos y las cifras. Nueva York: Naciones Unidas

Naciones Unidas. (2001). The World's Cities in 2016. Nueva York: Naciones Unidas

EIA. (2017). Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050.

EIA. (2016). World Energy Demand and Economic Outlook.

European Union. (2015). EU energy in figures. Statistical Pocketbook. European

Commission. EU, 268. <http://doi.org/10.2833/77358>

IDAE. (2013). Informe anual de consumos energéticos, 1–6.

IPCC. (2014). Cambio climático 2014. Informe de síntesis.  
World Commission on Environment and Development. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común.

Documentos de Las Naciones Unidas, 416.

Kyoto Protocol: Status of Ratification (PDF). United Nations Framework Convention on Climate Change. [Consulta: 28 Julio 2016].

Quispe Gamboa, Claudia N. (2013). Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO2 aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética. Trabajo Final de Máster. Cataluña: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, [Consulta: 19 de marzo 2017]

Cepeda Gutiérrez, M. y Mardaras Larrañaga, I.. “Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización”.

IDAE. (2013) Guía de la edificación sostenible.

García Vázquez, C. (2015). La obsolescencia de las tipologías de vivienda de los polígonos residenciales construidos entre 1950 y 1976. Desajustes con la realidad sociocultural contemporánea. Informes de la Construcción, 67(EXTRA-1): m020, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.045>.

Tejedor, J. (2015). Nuevo paradigma normativo sobre la ciudad: Retornando a la ciudad tradicional. Informes de la Construcción, 67(EXTRA-1): m022, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.046>.

Informes de la construcción (2015), vol. 67, EXTRA-1, marzo 2015. <http://dx.doi.org/10.989/ic.2015.v67.iExtra-1>

CCM. (2010) Guía de la construcción en madera.

Vélez, Carlos (2004). Ejecución de edificios en acero estructural. Trabajo Final de Grado. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Arquitectura y Construcción, [Consulta: 05 de febrero 2017]

Gervásio, H. “La sustentabilidad del acero y las estructuras metálicas”. Portugal: Universidad de Ingeniería Civil de Coimbra.

EMPA. (2012) “Wood-A sustainable resource.”

PUBLICACIONES DIGITALES TÉCNICAS. Edificaciones de Madera en altura. [Consulta: 19 noviembre 2017]

HOUSE HABITAT. Pau Benach, arquitecto del edificio de Sants. [Consulta: 19 noviembre 2017]

Wadel, G.. “Análisis comparado de 4 tipos de estructura”.



